



INSTITUTO POLITÉCNICO
DE VIANA DO CASTELO

Kevin Galvão Aleixo

ESTUDO DO REFORÇO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DE UMA MORADIA UNIFAMILIAR A REABILITAR

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em
Sistemas de Energias Renováveis

Sob a orientação de
Professor Doutor António José Candeias Curado

Novembro, 2015

AGRADECIMENTOS

Uma vez finalizada esta minha dissertação, cabe-me agradecer a todas as pessoas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a sua realização.

Ao meu orientador, Professor Doutor António Curado, pela sua sabedoria, ensinamento e apoio incondicional ao longo deste ano de trabalho.

Aos meus amigos da terrinha que cresceram comigo e que sempre me apoiaram. Um especial agradecimento ao Tiago Frutuoso Sousa e à Liliana Branco pelos debates construtivos e partilha de conhecimentos.

Aos meus pais e irmãos, pela força que me dão todos os dias, pela paciência, dedicação e sobretudo pelos conselhos preciosos concedidos ao longo de todo o meu percurso de vida e académico.

À Rita, por ser um pilar fundamental na minha vida, por me compreender, apoiar e motivar de forma incondicional. Sem ela não seria a pessoa que sou hoje nem teria chegado onde cheguei. Obrigado por acreditares em mim.

RESUMO

O consumo elevado no setor dos edifícios face às exigências regulamentares de conforto térmico e à necessidade de racionalizar o uso de energia atribui à reabilitação energética de edifícios um destaque importante na sociedade atual.

Nesta dissertação foi desenvolvido um estudo do reforço do desempenho energético de uma moradia unifamiliar a reabilitar, tomando como Caso de Estudo um edifício do concelho de Viana do Castelo. Para tal, avaliou-se o cenário existente com recurso à simulação numérica e à experimentação. O estudo teve como objetivos: caracterizar o desempenho térmico da moradia em estudo recorrendo a um programa de simulação numérica em regime dinâmico, validar o respetivo modelo com resultados de experimentação efetuada a três zonas específicas da moradia, avaliar o desempenho energético através da simulação numérica em regime permanente, propor melhorias do desempenho térmico-energético e determinar as soluções de reabilitação (passivas e ativas) mais adequadas.

A análise do Caso de Estudo permitiu avaliar o desempenho das zonas térmicas da moradia e revelou que as temperaturas atingidas ao longo de um ano apresentavam valores que se encontravam fora do intervalo de temperaturas de conforto desejáveis. A caracterização experimental permitiu comparar os valores de temperatura do ar interior obtidos pelo programa EnergyPlus e por via de medições *in situ* realizadas ao sótão, ao quarto orientado a sul e ao quarto orientado a norte, concluindo que o sótão é o compartimento que apresenta maiores necessidades de reabilitação. A análise de soluções de reabilitação passiva permitiu afirmar que a aplicação em conjunto de soluções é mais vantajosa do que a aplicação individual para os compartimentos em questão. Através da análise de soluções de reabilitação ativa determinou-se que o recuperador de calor foi a solução com maior destaque. O estudo do modelo de simulação numérica em regime permanente permitiu avaliar a eficiência energética da moradia e das soluções de reabilitação. A classe energética atingida na moradia foi C. Com a aplicação em conjunto das soluções passivas obteria uma classe B. Com a introdução do recuperador de calor, como solução de reabilitação ativa, a moradia alcançaria uma classe energética A+.

Palavras-Chave: reabilitação energética, conforto térmico, validação experimental, eficiência energética.

ABSTRACT

The energetic retrofit of buildings have a highlight in the actual society, due to the high consumption of energy in the building sector and the implemented regulatory requirements of thermal comfort.

This study was developed with the purpose of analyzing the reinforcement of the energy performance in a detached single-family house to be refurbished, using as case-study a building located in the district of Viana do Castelo. The developed study was carried out in order to characterize the thermal performance of the house, using simulation analysis in a dynamic regime. The energy consumption study was developed in permanent regime analysis, using simulation tools. At the end, the study aimed to propose and define the best retrofitting solutions, both passive and active, to improve the energy performance of the building.

The analysis of the case-study allowed to evaluate the performance of the thermal zones, revealing that the temperatures reached over a year had values that were out of the desirable range of comfort temperatures. The experimental characterization allowed to compare the indoor air temperature values obtained by the EnergyPlus program with the measurement *in situ* (in the attic, a south-facing room and a north-facing room) and concluded that the attic is the compartment that has major refurbished needs. By the analysis of passive rehabilitation solutions, it is possible to confirm that the application of a set of solutions is more advantageous than when individually applied. Through the analysis of active solutions, it was determined that the heat exchanger has been the more efficient solution. The study of the numerical simulation model in permanent regime allowed the determination of the energy efficiency class of the house and retrofitting solutions proposed. The energy class reached by the case-study was C. With the application of a passive set of solutions, it's possible to improve to a class B and with the implementation of some active solutions an energy class A +.

Keywords: Energy Rehabilitation, Thermal Comfort, Experimental Validation, Energy Efficiency.

Índice

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1. Introdução	1
1.1. Regulamentação aplicável	2
1.2. Objetivos	4
2. Estado da Arte	5
2.1. A Reabilitação Sustentável	5
2.2. A Eficiência Energética na Reabilitação Sustentável	6
2.3. O Conforto Térmico na Reabilitação Sustentável	7
2.4. As Soluções Passivas na Reabilitação	9
2.4.1. A Envolvente Opaca	10
2.4.2. Os Vãos Envidraçados e Caixilharias	13
2.4.3. A Ventilação Natural	14
2.5. As Soluções Ativas na Reabilitação	15
2.5.1. Os Sistemas Solares Fotovoltaicos	15
2.5.2. Os Sistemas Solares Térmicos	16
2.5.3. As Microturbinas Eólicas	16
2.5.4. Os Sistemas a Biomassa	16
2.5.5. As Bombas de calor	17
2.5.6. Reabilitação Energética de Sistemas e Instalações	17
2.5.7. Reabilitação na Perspetiva da Otimização da Eficiência do Uso da Água	18
2.6. Estudos de Reabilitação Energética de Moradias Unifamiliares	18
2.6.1. Exemplos em Portugal	18
2.6.2. Outros Exemplos na Europa	22
2.6.3. Outros Exemplos Relevantes de Reabilitação Energética	24
3. Apresentação do Caso de Estudo	25
3.1. Caracterização Arquitetónica	25
3.1.1. Alçados e Cortes	26
3.1.2. Plantas da Moradia	29

3.2. Soluções construtivas	31
3.2.1. Paredes Exteriores	31
3.2.2. Paredes Interiores	33
3.2.3. Coberturas	35
3.2.4. Envidraçados	36
3.3. Caracterização dos sistemas e equipamentos	40
4. Simulação Numérica em Regime Dinâmico e Permanente	42
4.1. Objetivos e Metodologia	42
4.2. Simulação em Regime Dinâmico vs Simulação em Regime Permanente	43
4.3. Simulação em Regime Dinâmico	43
4.3.1. Seleção do Programa de Simulação Numérica	43
4.3.2. Seleção de ficheiro climático	44
4.3.3. Construção do Modelo Geométrico	44
4.3.4. Caracterização dos parâmetros de Simulação	45
4.3.4.1 Grupo: Parâmetros de Simulação (Simulation Parameters)	46
4.3.4.2 Grupo: Clima e Localização (Location and Climate)	48
4.3.4.3 Grupo: Agendamentos (Schedules)	49
4.3.4.4 Grupo: Superfície de elementos de construção (Surface Construction Elements)	51
4.3.4.5 Grupo: Zonas Térmicas e Superfícies (Thermal Zones and Surfaces)	56
4.3.4.6 Grupo: Ganhos Internos (Internal Gains)	58
4.3.4.7 Grupo: Ventilação Natural, Condutas e Grelhas (Natural Ventilation and Duct Leakage)	60
4.3.4.8 Grupo: Resultados (Output Reporting)	68
4.3.5. Apresentação e Discussão de Resultados de Simulação	69
4.3.5.1 Temperatura do Ar Interior no Rés-do-chão	70
4.3.5.2 Temperatura do Ar Interior no Piso 1	73
4.3.5.3 Temperatura do Ar Interior no Piso 2	76
4.4. Cálculo do Comportamento Térmico em Regime Permanente	77
4.4.1. Seleção do Programa de Cálculo	77
4.4.2. Seleção da Zona Climática	77
4.4.3. Construção do Modelo Geométrico	78

4.4.4. Caracterização dos Parâmetros de Simulação	78
4.4.5. Apresentação e Discussão de Resultados	80
5. Caracterização Experimental da Moradia	84
5.1. Metodologia do Estudo Experimental	84
5.1.1. Plano de Medição	84
5.1.2. Dispositivos de Medição Instalados	84
5.1.3. Implantação dos Dispositivos de Aquisição de Dados <i>in situ</i>	86
5.2. Apresentação e Discussão dos Resultados de Medição	87
5.2.1. Resultados de Medição - Sótão	87
5.2.2. Resultados de Medição - QSD	88
5.2.3. Resultados de Medição - QN	88
6. Estudo de Soluções de Reforço do Desempenho Energético	90
6.1. Enquadramento	90
6.2. Soluções de Reabilitação Passiva	90
6.2.1. Reforço do Isolamento nas Paredes Exteriores	90
6.2.2. Reforço do Isolamento na Cobertura	93
6.2.3. Reforço do Isolamento nos Vãos Envidraçados	95
6.2.4. Reforço do Isolamento com Aplicação das 3 Soluções em Conjunto	97
6.2.5. Análise de Soluções de Reforço do Desempenho Térmico	99
6.3. Obtenção de Classe de Eficiência Energética	100
6.4. Implementação de Sistemas e Equipamentos	102
7. Conclusões	105
8. Bibliografia	107
9. ANEXOS	112
I. Folhas de Cálculo do REH	113
II. Classe da Inércia Térmica	129
III. Descrição das Pontes Térmicas Lineares	130
IV. Cálculo do Fator de Redução segundo a Norma EN ISO 13789	132
V. Desempenho Energético	136
VI. Ficha Técnica – Envidraçados	142
VII. Programa EnergyPlus – Resumo dos Resultados	143

Índice de Figuras

Figura 1 - Exemplo de isolamento da parede pelo exterior.	11
Figura 2 - Exemplo de isolamento da parede pelo interior.	11
Figura 3 - Exemplo de isolamento com preenchimento da caixa-de-ar.	12
Figura 4 - Fotografia da moradia em estudo.	25
Figura 5 - Alçado sul da moradia.	26
Figura 6 - Corte longitudinal do alçado sul da moradia.	26
Figura 7 - Alçado a norte da moradia.	27
Figura 8 - Alçado este da moradia.	27
Figura 9 - Corte transversal do alçado este da moradia.	28
Figura 10 - Corte transversal da zona de serviço.	28
Figura 11 - Alçado oeste da moradia.	29
Figura 12 - Planta do rés-do-chão da moradia.	29
Figura 13 - Planta do primeiro andar da moradia.	30
Figura 14 - Planta do segundo andar da moradia.	30
Figura 15 - Planta da moradia vista de cima.	31
Figura 16 - Paredes exteriores da habitação orientadas a sul, norte e este da moradia.	31
Figura 17 - Paredes orientadas a oeste e a sul na zona de serviço.	32
Figura 18 - Parede orientada a norte na zona de serviço.	32
Figura 19 - Parede orientada a norte na caixa de escadas.	32
Figura 20 - Paredes exteriores do primeiro piso.	33
Figura 21 - Paredes exteriores do segundo piso.	33
Figura 22 - Paredes divisórias interiores do rés-de-chão.	34
Figura 23 - Paredes interiores divisórias do piso 1.	34
Figura 24 - Parede interior que separa zona de serviço da cozinha e WC.	34
Figura 25 - Cobertura inclinada da moradia.	35
Figura 26 - Cobertura plana da moradia.	35
Figura 27 - Pavimento do rés-do-chão.	36
Figura 28 - Pavimento do primeiro e segundo piso.	36
Figura 29 - Solução porta-janelas (lado esquerdo) presentes no piso 1 e janelas (lado direito) existentes no rés-de-chão e piso 1.	40

Figura 30 - Modelo geométrico da moradia criado no programa Sketchup Make (2015) juntamente com o plug-in Legacy OpenStudio.	45
Figura 31 - Campo "SimulationControl".	46
Figura 32 - Campo "Building".	47
Figura 33 - Campo "SurfaceConvectionAlgorithm:Inside".	47
Figura 34 - Campo "SurfaceConvectionAlgorithm:Outside".	47
Figura 35 - Campo "HeatBalanceAlgorithm".	48
Figura 36 - Campo "Timestep".	48
Figura 37 - Campo "Run Period".	48
Figura 38 - Campo "Site:GroundTemperature:BuildingSurface".	49
Figura 39 - Campo "ScheduleTypeLimits".	50
Figura 40 - Campo "Schedule:Compact" (os três primeiro objetos).	50
Figura 41 - Campo "Material" (os três primeiro objetos).	51
Figura 42 - Campo "Material:AirGap".	53
Figura 43 - Campo "WindowMaterial:SimpleGlazingSystem".	54
Figura 44 - Campo "WindowMaterial:Glazing".	55
Figura 45 - Campo " WindowMaterial:Gas".	55
Figura 46 - Campo "Construction".	56
Figura 47 - Campo "GlobalGeometryRules".	56
Figura 48 - Esquematização das regras geométricas aplicadas às superfícies da moradia em estudo.	56
Figura 49 - Campo "Zone".	57
Figura 50 - Campo "BuildingSurface:Detailed" (os primeiros três objetos).	57
Figura 51 - Campo "FenestrationSurface:Detailed" (os primeiros três objetos).	58
Figura 52 - Campo "People".	59
Figura 53 - Representação dos valores de fração do ar de retorno, radiante e visível.	59
Figura 54 - Campo "Lights".	60
Figura 55 - Campo "ElectricEquipment".	60
Figura 56 - Campo "AirflowNetwork:SimulationControl".	62
Figura 57 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Zone".	62
Figura 58 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Surface".	63
Figura 59 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:ReferenceCrackConditions".	63

Figura 60 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Surface:EffectiveLeakageArea".	64
Figura 61 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening".	64
Figura 62 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode".	65
Figura 63 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientArray".	65
Figura 64 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues".	65
Figura 65 - Campo "Fan:ConstantVolume".	66
Figura 66 - Campo "ArflowNetwork:Distribution:Node".	66
Figura 67 - Campo "ArflowNetwork:Distribution:Component:Fan".	66
Figura 68 - Campo "ArflowNetwork:Distribution:Component:Linkage".	67
Figura 69 - Campo "OutdoorAir:Node".	67
Figura 70 - Campo "Branch".	67
Figura 71 - Campo "BranchList".	67
Figura 72 - Campo "NodeList".	68
Figura 73 - Campo "Output:VariableDictionary".	68
Figura 74 - Campo "Output:Surfaces:Drawing".	68
Figura 75 - Campo "Output:Table:SummaryReports".	69
Figura 76 - Campo "Output:Variable".	69
Figura 77 - Campo "Output:Diagnostics".	69
Figura 78 - Temperatura do ar interior da caixa de escadas ao longo de um ano.	70
Figura 79 - Temperatura do ar interior na zona de serviço ao longo de um ano.	71
Figura 80 - Temperatura do ar interior no WC zona de serviço ao longo de um ano.	71
Figura 81 - Temperatura do ar interior na cozinha ao longo do ano.	72
Figura 82 - Temperatura do ar interior no WC do rés-do-chão ao longo de um ano.	72
Figura 83 - Temperatura do ar interior na sala ao longo de um ano.	73
Figura 84 - Temperatura do ar interior do QSE ao longo de um ano.	74
Figura 85 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano.	74
Figura 86 - Temperatura do ar interior no QN ao longo de um ano.	75
Figura 87 - Temperatura do ar interior no WC do piso 1 ao longo de um ano.	75
Figura 88 - Temperatura do ar interior no corredor do piso 1 ao longo de um ano.	76
Figura 89 - Temperatura do ar interior no sótão ao longo de um ano.	76
Figura 90 - Modelo geométrico obtido através do programa CYPECAD MEP.	78
Figura 91 - Classe Energética de um edifício de habitação.	83

Figura 92 - (1) RTR-500, (2) RTR-503+TR-3310.	85
Figura 93 - Sensor TR-3310.	85
Figura 94 - Implementação das duas sondas no Sótão.	86
Figura 95 - Implementação das sondas nos dois quartos (QSD e QN).	86
Figura 96 - Comparação da temperatura do ar interior no Sótão da simulação e estudo experimental no verão (A) e no inverno (B).	87
Figura 97 - Comparação da temperatura do ar interior do QSD da simulação e estudo experimental no verão (A) e no inverno (B).	88
Figura 98 - Comparação da temperatura do ar interior do QN da simulação e estudo experimental no verão (A) e no inverno (B).	88
Figura 99 - Temperatura do ar interior no QSD ao longo de um ano (simulação versus aplicação da solução de reforço do isolamento nas paredes exteriores).	91
Figura 100 - Temperatura do ar interior no QN ao longo de um ano (simulação vs aplicação da solução de reforço do isolamento nas paredes exteriores).	91
Figura 101 - Temperatura do ar interior no Sótão ao longo de um ano (simulação vs aplicação da solução de reforço do isolamento nas paredes exteriores).	92
Figura 102 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento na cobertura).	93
Figura 103 - Temperatura do ar interior do QN ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento na cobertura).	94
Figura 104 - Temperatura do ar interior do Sótão ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento na cobertura).	94
Figura 105 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento nos vãos envidraçados).	95
Figura 106 - Temperatura do ar interior do QN ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento nos vãos envidraçados).	96
Figura 107 - Temperatura do ar interior do Sótão ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento nos vãos envidraçados).	96
Figura 108 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano (simulação vs a aplicação das 3 soluções em conjunto).	97
Figura 109 - Temperatura do ar interior do QN ao longo de um ano (simulação vs a aplicação das 3 soluções em conjunto).	98

Figura 110 - Temperatura do ar interior do Sótão ao longo de um ano (simulação vs a aplicação das 3 soluções em conjunto).

98

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de serviço).	36
Tabela 2 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de serviço) (cont.).	37
Tabela 3 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de habitação).	37
Tabela 4 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de habitação) (cont.).	38
Tabela 5 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de habitação) (cont.).	39
Tabela 6 - Caracterização de materiais existentes na moradia em de estudo.	52
Tabela 7 – Referência dos dados utilizados para soluções dos envidraçados existentes na moradia.	54
Tabela 8 – Relação entre os valores das necessidades de energia útil de aquecimento e o seu limite em edifícios sujeitos a intervenção.	81
Tabela 9 – Resultados obtidos no caso de estudo em relação aos valores das necessidades de energia útil de aquecimento, limite máximo obtido e razão entre ambos.	81
Tabela 10 - Relação entre os valores das necessidades de energia útil de arrefecimento e o seu limite em edifícios sujeitos a intervenção.	81
Tabela 11 - Resultados obtidos no caso de estudo em relação aos valores das necessidades de energia útil de arrefecimento, limite máximo obtido e razão entre ambos.	82
Tabela 12 - Relação entre os valores das necessidades de energia primária e o seu limite em edifícios sujeitos a intervenção.	82
Tabela 13 - Resultados obtidos no caso de estudo em relação aos valores das necessidades de energia primária, limite máximo obtido e razão entre ambos.	83
Tabela 14 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, das 3 zonas térmicas perante a solução existente e o reforço do isolamento nas paredes exteriores.	92
Tabela 15 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, das 3 zonas térmicas em estudo perante a solução existente e o reforço do isolamento na cobertura.	95
Tabela 16 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, dos três compartimentos em estudo perante a solução existente e o reforço do isolamento nos vãos envidraçados.	97
Tabela 17 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, dos três compartimentos em estudo (solução existente vs o reforço das 3 soluções em conjunto).	99
Tabela 18 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, dos três compartimentos em estudo (Solução Existente vs Reforço do Sótão vs Reforço das 3 Soluções em Conjunto).	100

Tabela 19 – Resultados das necessidades nominais anuais de aquecimento, arrefecimento e energia primária da simulação e dos reforços aplicados.	101
Tabela 20 – Resultados dos ganhos existentes vs equipamentos/sistemas.	103
Tabela 21 – Resultados do recuperador de calor vs simulação c/equipamentos.	103
Tabela 22 – Resultados do sistema multi-split vs simulação c/equipamentos.	104
Tabela 23 – Resultados do sistema multi-split + fotovoltaico vs sistema multi-split.	104

Símbolos e Abreviaturas

Símbolos

c_p – Calor específico (J/kg.°C)

e – Espessura (m)

$g_{L,vi}$ – Fator solar do vidro

N_i – Valor limite das necessidades nominais de energia útil de aquecimento [kWh/(m².ano)]

N_{ic} – Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento [kWh/(m².ano)]

N_t – Valor limite das necessidades nominais globais de energia primária [kWh_{EP}/(m².ano)]

N_{tc} – Necessidades Nominais Globais de Energia Primária [kWh_{EP}/(m².ano)]

N_v – Valor limite das necessidades nominais de energia útil de arrefecimento [kWh/(m².ano)]

N_{vc} – Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento [kWh/(m².ano)]

k – Coeficiente de perdas térmicas

R_{ph} – Taxa de renovação horária (h⁻¹)

$R_{ph,I}$ – Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento

$R_{ph,v}$ – Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de arrefecimento

T – Temperatura (°C)

U – Coeficiente de transmissão térmica (W/m².°C)

V – Volume (m³)

ΔT – Variação da Temperatura (°C)

α_{solar} – Radiação solar

$\alpha_{térmico}$ – Radiação térmica

Ψ – Coeficiente de transmissão térmica linear (W/m.°C)

λ – Condutibilidade térmica (W/m.°C)

ρ – Massa volúmica (kg/m³)

Abreviaturas

ADENE – Agência para a Energia

AQS – Águas Quentes Sanitárias

CE – Comunidade Europeia

CO₂ – Dióxido de Carbono

COP – Coeficiente de Desempenho

DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia

EN – European Norm

EPS – Poliestireno Expandido

ERR – Relação de eficiência energética

GEE – Gases com Efeito de Estufa

ICB – Aglomerado negro de Cortiça

IEC – International Electrotechnical Commission

ISO – International Organization for Standardization

ITE – Informação Técnica de Edifícios

LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações

LEDs – Díodo Emissor de Luz

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MW – Lã Mineral

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PUR – Espuma de Poliuretano

PVC – Polietileno de Vínilo

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS – Regulamento de Desempenho Energético de Comércio e Serviços

REH – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RSECE – Regulamento os Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios

TMY – Typical Meteorological Year

UE – União Europeia

WC – Quarto de Banho

XPS – Poliestireno Extrudido

1. Introdução

O setor da construção de edifícios apresenta um grande impacto social, económico e ambiental no mundo devido ao elevado consumo de recursos e à produção excessiva de resíduos (Silva(a), 2012). O crescimento constante da população leva inevitavelmente ao aumento do número de edifícios e infraestruturas, envolvendo a degradação do solo (que indiretamente provoca graves mudanças na qualidade da água, do ar, da biodiversidade e do próprio clima), a restrição de território e o próprio uso de matérias-primas (Durão, 2013).

Na União Europeia o setor de edifícios é responsável pelo consumo de aproximadamente 40% do total de energia consumida. Em Portugal este setor representa menos de 30% da energia utilizada para consumo final (Barbosa & Bragança, 2012; DGEG, 2015). Grande parte provém do setor doméstico devido ao gasto de energia elétrica e ao consumo de água potável nas habitações, que tem aumentado consecutivamente ao longo dos últimos anos (Dinis, 2010; Lopes, 2010). Tal facto deve-se à procura, por parte da população de uma maior qualidade de vida e conforto no interior das habitações. Tendo em conta que grande parte dos edifícios em Portugal foram construídos antes da existência de quaisquer regulamentações que focassem estes aspetos (Durão, 2013), as respetivas necessidades de conforto levaram ao aumento dos consumos energéticos não renováveis, que são tanto maiores quanto mais antigas forem as habitações (Sousa *et al.*, 2012).

Apesar de Portugal não estar ainda sensível à necessidade e importância da reabilitação de edifícios, com a recente crise mundial e as repercussões assistidas neste país, a construção de novos edifícios deixa de ter a mesma prioridade que tinha em décadas anteriores, tornando-se crucial investir nesta área de reabilitação para rejuvenescer o parque habitacional português a nível da sua eficiência energética e do conforto de forma a atingir desempenhos semelhantes aos edifícios construídos de raiz (Almeida *et al.*, 2012; Costa *et al.*, 2014).

Para desenvolvimento prático da Tese selecionou-se, como Caso de Estudo uma moradia unifamiliar, não existindo qualquer estratégia de reforço do seu desempenho energético. Neste contexto, tem-se como principal objetivo o desenvolvimento de um estudo experimental da caracterização do cenário existente, propondo melhorias de reforço de desempenho que sirvam de suporte a futuras ações de reabilitação tendo em vista o incremento da eficiência energética e do conforto térmico.

1.1. Regulamentação aplicável

Com a crise petrolífera, ocorrida na década de 70, surgiu a necessidade de controlar os gastos energéticos. Apesar da União Europeia (UE) tomar medidas que apostem nas energias provenientes de fontes renováveis, a maior parte dos Estados Membros são dependentes dos países produtores de combustíveis fósseis. Foram por isso, adotadas diretivas europeias que atuassem na diminuição das necessidades energéticas (Cota, 2014).

Em Portugal, o primeiro instrumento legal publicado foi o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE), aprovado pelo Decreto-Lei nº 40/90 de 6 de fevereiro que estabeleceu os requisitos de qualidade para os novos edifícios de habitação e pequenos edifícios de serviços sem sistemas de climatização, nomeadamente ao nível das características da envolvente, limitando assim as perdas térmicas e controlando os ganhos solares excessivos (Afonso, 2009).

Em 1998, foi assinado o Protocolo de Quioto pelos países da UE com o objetivo de se comprometerem a reduzir os consumos de energia e as emissões de GEE até 2012, cerca de 8% em relação aos verificados em 1990. O Conselho da UE, através da Decisão (UE) 2015/1339 do Conselho de 13 de julho, alargou o período de compromisso do Protocolo de Quioto com início em 2013 até 2020, com vista a uma redução de 20% da emissão de GEE em relação aos níveis de 1990 (APA, 2012). A imposição das reduções apresentadas pelo Protocolo de Quioto levou à atualização constante de regulamentos por parte da UE (Abrantes, 2012), criando medidas e planos estratégicos para, até 2020, ser possível promover a melhoria da eficiência energética dos edifícios, reduzindo 20% dos níveis de consumo face aos níveis atuais, aumentando 20 % da utilização de energias renováveis e diminuindo pelo menos 20% dos GEE (Ferreira, 2012). A Diretiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de dezembro relativa ao desempenho energético

dos edifícios estabeleceu a implementação de um sistema de certificação energética de edifícios, para os novos edifícios e para as grandes intervenções de edifícios existentes (Alves, 2011).

Em Portugal a Diretiva 2002/91/CE foi transposta para o Decreto-Lei n.º78/2006 de 4 de abril relativo ao Sistema Nacional de Certificação Energética (SCE) e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios, para o Decreto-Lei n.º79/2006 de 4 de abril que fez a revisão do Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) e para o Decreto-lei 80/2006 de 4 de abril que fez a revisão do Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE). Foi ainda acrescentado ao RCCTE as necessidades de energia para a preparação de águas quentes sanitárias, devido à obrigatoriedade em instalar equipamentos com recurso a energias renováveis, e definidos os valores máximos para necessidades nominais de energia útil de aquecimento e arrefecimento e de preparação de águas quentes sanitárias (AQS), bem como para as necessidades globais de energia primária (Silva, 2014).

Em 2006 foi também lançada a Diretiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de abril relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos que propõe aos Estados Membros publicarem um plano de ação para a eficiência energética. Assim é aprovado, em 2008, o Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética (PNAEE). Passados quatro anos foi publicada a Diretiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de maio, que surgiu como revisão da Diretiva 2002/91/CE tendo sido transposta para o Decreto-Lei n.º118/2013 de 20 de agosto que reúne num único diploma o Sistema Certificação Energética dos Edifícios (SCE), onde se integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS), com objetivo primordial assegurar e promover a melhoria do desempenho energético dos edifícios (Silva, 2014). O REH estabelece os requisitos necessários para aplicar aos edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais para todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente (REH, 2013).

1.2. Objetivos

O principal objetivo desta dissertação será avaliar o desempenho energético em serviço de uma moradia unifamiliar a reabilitar, situada em Torre, no concelho de Viana do Castelo, caracterizando-a e propondo medidas de reforço da sua performance, a nível da eficiência energética e do conforto térmico.

Para tal pretende-se:

- Realizar o levantamento dimensional detalhado e caracterizar, do ponto de vista térmico, os elementos construtivos e os equipamentos/sistemas existentes na moradia tomada como caso de estudo;
- Construir um modelo de simulação em regime dinâmico que permita a caracterização do desempenho térmico da moradia, avaliando as condições de conforto dos ocupantes;
- Caracterizar experimentalmente o desempenho térmico da moradia tendo como base medições efetuadas *in situ* da temperatura do ar interior, de forma a validar o modelo de simulação em regime dinâmico;
- Utilizar uma ferramenta de cálculo automático em regime permanente, para avaliação do comportamento térmico e da eficiência dos sistemas técnicos;
- Caracterizar os resultados obtidos perante ambas as simulações;
- Propor soluções de reabilitação passivas e ativas para melhoria do desempenho térmico e da eficiência energética da moradia em estudo e caracterizar os resultados obtidos.

2. Estado da Arte

2.1. A Reabilitação Sustentável

O mercado de construção de novos edifícios tem vindo a diminuir devido à atual crise económica e o parque habitacional tem apresentado um acentuado estado de degradação, que consequentemente provoca um decréscimo na qualidade de vida da população e uma deterioração do próprio património edificado (Durão, 2013). A reabilitação surge como uma estratégia indispensável para aumentar a qualidade e diminuir os excessivos consumos energéticos através da envolvente e dos sistemas.

De acordo com Jardim (2009), “O edifício existente não pode simplesmente ser abandonado ou transformado em mais toneladas de resíduos por tratar. Pelo contrário, a sua reabilitação é, para além de um ato de valorização dos recursos históricos, uma oportunidade para promover a sustentabilidade ambiental. Será, portanto, desejável desenvolver intervenções de reabilitação do meio edificado que conciliem a preservação do património, a atualização das condições de funcionalidade e conforto, e a melhoria do desempenho ambiental e energético.”.

A reabilitação sustentável surge assim como um trilha que apenas é possível se forem aliadas práticas sustentáveis à reabilitação pura e simples, nomeadamente através de medidas capazes de reduzir os consumos de matérias-primas, energia, água e produção de resíduos e medidas que reduzam os custos a eles associados tanto nas utilizações como nas manutenções (Costa *et al.*, 2014). Este tipo de intervenção pode resolver problemas relacionados com anomalias do edifício, proporcionando a melhoria no seu desempenho, compatível com as exigências atuais e aumento do seu percurso de vida. Sempre que possível, a reabilitação deve ser direcionada como um processo sustentável, preservando o máximo de elementos construtivos, garantindo condições de conforto e segurança, melhorando a eficiência energética e utilizando materiais e técnicas amigas do ambiente (Durão, 2013; Jardim, 2009; Mascarenhas, 2014). Contribui, desta forma, para a preservação de valores culturais, ambientais e até económicos (Silva(a), 2012).

Ao escolher reabilitar ao invés de demolir, opta-se por preservar os edifícios a nível cultural e ambiental, porque grande parte dos elementos construtivos existentes são recuperados (preservação do património) e não proporcionam tantos gastos de novos materiais, que seriam necessários numa nova construção. Desta forma ajudamos o meio ambiente, reutilizando o máximo de materiais existentes no edifício, levando à redução de consumos de energia na produção e aplicação desses produtos, e ainda à redução de emissões de CO₂. A nível económico evidenciam-se reduções de custos quanto às quantidades de novos materiais necessários e quanto à demolição, estaleiro, licenças, taxas e evidencia-se igualmente uma facilidade na aprovação de projetos (Durão, 2013; Silva(a), 2012).

Segundo vários autores, admite-se que a reabilitação seja mais complexa do que a construção de um novo edifício, por exigir um maior conhecimento, sensibilização e rigor. Cada caso tem que ser analisado de forma pormenorizada, pelas suas características únicas (Durão, 2013; Silva(a), 2012).

2.2. A Eficiência Energética na Reabilitação Sustentável

A reabilitação sustentável assenta num dos seus principais pilares: a eficiência energética nos edifícios. Esta consiste na otimização e na racionalização dos consumos energéticos do edifício, de forma a promover um melhor conforto e uma maior qualidade de vida interior, diminuindo as necessidades energéticas (iluminação, ventilação e climatização artificial) com o apoio de tecnologias e estratégias sustentáveis (Durão, 2013). Para reabilitar um edifício a nível energético é necessário ter em conta determinados aspetos, nomeadamente a localização, orientação e forma do edifício (Durão, 2013).

A localização do edifício é um ponto fulcral no projeto uma vez que a topografia, a proximidade de água, vegetação e outros possíveis obstáculos existentes no perímetro influenciam as características do clima local, e consequentemente determinam os ganhos ou as perdas de um edifício. Desta forma, a recolha de informação sobre o clima do local do edifício, é essencial para a definição estratégica de qualquer construção ou reabilitação. Conforme a orientação do edifício procura-se, na estação de aquecimento, otimizar a captação da radiação solar, e na estação de arrefecimento, evitar a sua fácil entrada. O fator forma do edifício influencia o seu desempenho térmico pois quanto maior for a superfície

exterior maiores serão as perdas térmicas que ocorrem através dela. Possuir uma forma mais compacta torna-se uma solução para diminuir estas perdas (Durão, 2013; Energia, 2013).

Os aspetos anteriormente referidos são alguns dos possíveis para dotar o edifício com os instrumentos necessários para melhorar o seu desempenho no arrefecimento, aquecimento, ventilação e iluminação natural. Desta forma é promovido um maior conforto térmico, acústico e visual, e consequentemente, uma redução do impacto ambiental no projeto, construção e utilização do edifício, bem como a poupança de recursos, financeiros e materiais (Durão, 2013).

São variadíssimas as medidas de reabilitação utilizadas para tornar um edifício energeticamente eficiente. A reabilitação térmica da envolvente do edifício surge como uma forma de promover a redução do consumo de energia a partir do reforço da proteção das partes opacas (paredes, coberturas e pavimentos), do reforço das propriedades dos vãos envidraçados e das caixilharias e do recurso a tecnologias solares passivas. Todas estas soluções passivas tornam-se fundamentais para o bom desempenho e podem reduzir o consumo energético de um edifício até 40% (Anastácio, 2010; Durão, 2013; Silva(a), 2012). As soluções ativas contribuem para uma redução de 20% do consumo energético de um edifício e recorrem a tecnologias solares ativas que se baseiam na implementação de energias renováveis, nomeadamente a solar térmica e solar fotovoltaica. A reabilitação energética dos sistemas, instalações e equipamentos permitem obter melhores rendimentos e menores consumos de energia (Anastácio, 2010; Silva(a), 2012).

2.3. O Conforto Térmico na Reabilitação Sustentável

De acordo com Abrantes (2012) “A capacidade do ser humano em adaptar-se às alterações do ambiente envolvente é bastante fraca, quando comparada com a restante vida animal. A maior ou menor necessidade de se proteger, obriga-o ir à procura de refúgios para sobreviver às condições adversas. A habitação funciona como a principal defesa do Homem face ao clima, alterando o ambiente, para o tornar mais próximo das suas condições de conforto, devendo ter a capacidade para reagir às condições ambientais exteriores, sendo capaz de absorver e irradiar, promovendo assim a estabilidade interior.”.

A definição de conforto não é um conceito exato uma vez que varia segundo fatores quantificáveis (temperatura, humidade, ruído, entre outros) e fatores não quantificáveis (contexto cultural, estado psicológico, hábitos, entre outros), que se diversificam consoante cada pessoa (Silva, 2006). Para obter condições ótimas de conforto o elemento motor para o detetar é a mente e para tal, o corpo humano possui diversos recetores que permitem transmitir respostas sobre o meio envolvente (Abrantes, 2012).

O investimento na qualidade do ambiente interior de um edifício é essencial quando se procede à sua reabilitação, uma vez que as pessoas passam 80 a 90 % do seu tempo em espaços interiores (Mascarenhas, 2014). Para que essa qualidade seja atingida é necessário ter em conta os níveis de comportamento térmico, visual e acústico, bem como de qualidade do ar no interior do edifício (Guerra, 2013).

O conforto térmico é classificado pelos ocupantes do edifício como o tipo de conforto de maior importância, quando em comparação com o visual, acústico e qualidade do ar interior (Yang *et al.*, 2014). O corpo humano capta a informação do ambiente envolvente, a temperatura e humidade, através dos seus recetores térmicos (pele e hipotálamo). É possível atingir o conforto térmico através de diversas soluções, como por exemplo: assegurar que a envolvente opaca apresenta resistência térmica adequada através de isolamento, trocar os vãos envidraçados e caixilharias para outros com rotura térmica ou outra solução com o mesmo fim, usar equipamentos de aquecimento e arrefecimento do ar interior e utilização de dispositivos de sombreamento nos envidraçados de forma a evitar sobreaquecimentos no edifício (Abrantes, 2012).

O conforto visual diz respeito à quantidade e distribuição de luz natural presente no edifício, no entanto a iluminação artificial também possui a sua importância supondo que a luz natural é reduzida ou até nula num determinado local (Guerra, 2013). Através da informação captada pelos olhos, a mente obtém uma resposta de satisfação, ou não, relativamente a iluminação existente no meio. Para obter o conforto visual é necessário ter em conta a orientação dos vãos envidraçados e as suas características (para uma iluminação interior apropriada), a aplicação de dispositivos de sombreamento (para controlar a entrada de luz), o uso de iluminação artificial adequada e as cores aplicadas no interior do edifício (Lopes, 2010).

O conforto acústico é avaliado através dos nossos órgãos auditivos. A ausência de sistemas apropriados de controlo acústico tem uma forte influência na saúde e produtividade dos habitantes (Dinis, 2010). Este tipo de conforto está normalmente interligado com o conforto térmico, pois o uso de isolamento térmico na envolvente opaca e a colocação de vãos envidraçados e caixilharias adequadas reduzem significativamente os ruídos exteriores (Lopes, 2010).

Como referido anteriormente, as pessoas passam cada vez mais tempo dentro dos edifícios sendo necessário criar condições ótimas para que haja qualidade do ar interior. Este é um fator importante para o conforto relacionado com a qualidade do ar interior do edifício, estando diretamente relacionado com a saúde, produtividade e bem-estar dos seus ocupantes (Lopes, 2010). Se o edifício apresenta uma elevada quantidade de poluentes (normalmente partículas em suspensão, fumos e gases de combustão e odores indesejáveis e outros gases) no seu interior, surgem sintomas relacionados com a sua inalação, nomeadamente, complicações respiratórias, alergias, dores de cabeça, fadiga, etc. (Dinis, 2010; Lopes, 2010). Desta forma torna-se importante a escolha de materiais de construção adequados para prevenir a degradação do ar resultante da humidade/condensações presentes no edifício que possibilitam o crescimentos de colónias de fungos e esporos. Para isso é favorável a aplicação de isolamento na envolvente opaca e nos vãos envidraçados e caixilharias e optar por uma boa ventilação, de preferência, natural para melhorar a qualidade do ar.

2.4. As Soluções Passivas na Reabilitação

As soluções passivas oferecem um melhor desempenho do edifício, aperfeiçoando a sua qualidade térmica e o seu conforto interior, através da captação e reaproveitamento dos recursos naturais (Durão, 2013). A adoção destas soluções nem sempre permite obter as condições ideais de conforto, visto que estas variam devido às alterações climáticas (Silva(b), 2012). Portugal possui um clima ‘ameno’, sendo essencial privilegiar este tipo de soluções para se obter o nível de conforto exigido regulamentarmente no interior dos edifícios, minimizando os consumos de energia por parte de sistemas mecânicos no setor doméstico, como acontece em vários países europeus (Curado, 2014).

Os edifícios que não estão bem isolados a nível térmico geram perdas e ganhos de calor significativos. No inverno, os espaços interiores arrefecem rapidamente e no verão ocorre sobreaquecimento num curto intervalo de tempo, tornando-se desconfortáveis e desadequados à saúde dos ocupantes. Consoante a época do ano, é necessário fornecer ou extrair quantidades de energia para compensar as perdas e os ganhos existentes (Jardim, 2009). Tendo em conta que uma parte da energia usada para aquecimento é desperdiçada devido à existência de fugas que estão relacionadas com a ausência ou até insuficiência de isolamento dos elementos opacos da envolvente (paredes, coberturas e pavimentos) e da fraca utilização de soluções nos vãos envidraçados, torna-se necessário reforçar os isolamentos térmicos para que o edifício tenha menores consumos energéticos, conservando a energia no seu interior durante o inverno e dificultando a penetração de energia no verão (Energua, 2013; Ferreira, 2009; Silva(b), 2012).

O isolamento térmico é uma solução eficiente e simples para reduzir o consumo de energia e é fundamental para proteger o interior dos edifícios das variações climatéricas, oferecendo desta forma conforto aos seus ocupantes (Mascarenhas, 2014). A sua aplicação permite diminuir as perdas de calor que ocorrem por transmissão e aproveitar os ganhos utilizando técnicas adequadas com o auxílio de materiais isolantes. Desta forma é possível reduzir os consumos de energia e custos dos seus respetivos equipamentos de aquecimentos e arrefecimento (Ferreira, 2009; Silva(b), 2012).

O poliestireno expandido (EPS), o poliestireno extrudido (XPS), a espuma de poliuretano (PUR), o aglomerado negro de cortiça (ICB) e a lã mineral (MW) são materiais porosos de baixa densidade utilizados frequentemente como isolantes térmico e são aplicados de acordo com as suas propriedades, nomeadamente a espessura que é definida mediante o cálculo térmico (Ferreira, 2009). Os fatores envolventes na aplicação destes materiais são, por exemplo, a diversidade, o tipo de obra a realizar, o grau de isolamento a obter, o volume do edifício a reabilitar e, claro, a disponibilidade económica (Energua, 2013; Ferreira, 2009).

2.4.1. A Envolvente Opaca

As paredes são os elementos da envolvente, responsáveis por cerca de 25% das perdas térmicas num edifício (Energua, 2013). A aplicação do isolamento térmico nas paredes pode ser concebida de três formas, pelo interior, exterior ou na caixa-de-ar do edifício.

Pelo exterior é o cenário ideal na reabilitação (Figura 1), pois não provoca perturbação na ocupação da habitação e permite aproveitar a inércia térmica das paredes garantindo assim uma forte supressão das pontes térmicas e a redução dos riscos de condensações. Apesar do isolamento térmico pelo exterior proporcionar uma melhoria no conforto e na eficiência energética do edifício, descaracteriza as fachadas antigas, podendo provocar sobreaquecimento nas fachadas expostas a forte radiação solar, e apresenta custos elevados quando comparado com as outras formas de isolamento (Energuaia, 2013; Mascarenhas, 2014).

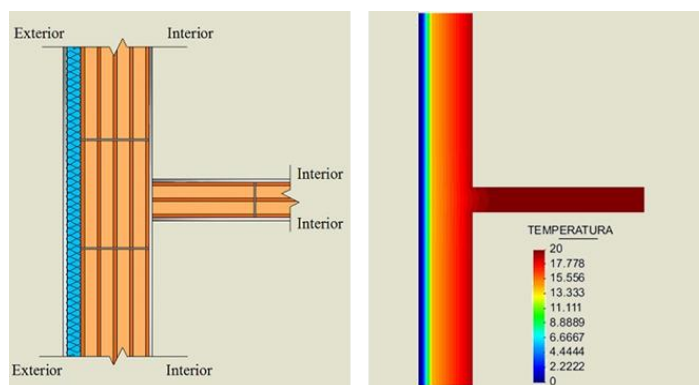


Figura 1 - Exemplo de isolamento da parede pelo exterior.
Fonte: (ITeCons, 2011).

A aplicação do isolamento pelo interior (Figura 2) tem como grande vantagem a preservação das fachadas originais. Contudo, não é tão eficaz de um ponto de vista térmico uma vez que se torna difícil isolar determinados pontos, não permitindo o aproveitamento da inércia térmica existente nas paredes e provocando perda do espaço útil interior da habitação. No entanto é uma opção viável, pois através desta é possível atenuar as deficiências no isolamento térmico e ter custos reduzidos relativamente a solução anterior (Energuaia, 2013; Mascarenhas, 2014).

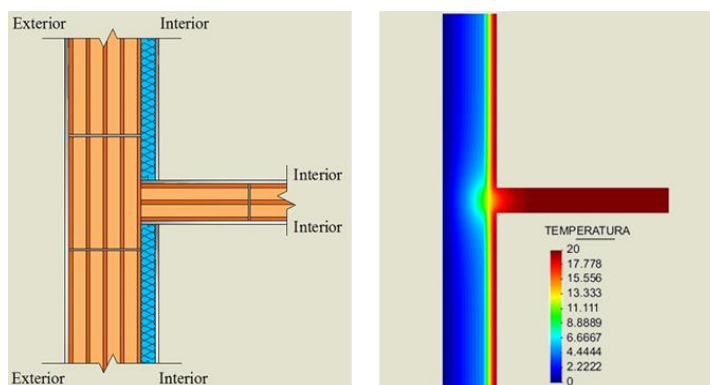


Figura 2 - Exemplo de isolamento da parede pelo interior.
Fonte: (ITeCons, 2011).

O preenchimento da caixa-de-ar com espuma isoladora nas paredes duplas (Figura 3) tem como vantagens: não reduzir o espaço útil da habitação, permitir preservar as fachadas originais e ainda possibilitar o aproveitamento da inércia térmica existente nas paredes, etc.. Esta opção apesar de ser rentável apenas é possível a sua aplicação na existência de um espaço vazio em paredes duplas (Energuaia, 2013).

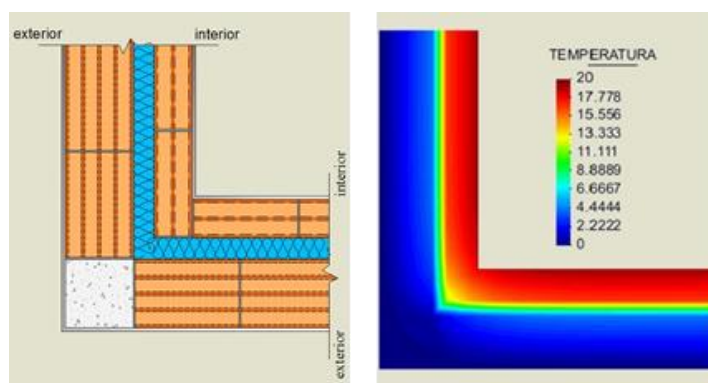


Figura 3 - Exemplo de isolamento com preenchimento da caixa-de-ar.
Fonte: (ITeCons, 2011).

A cobertura é o elemento construtivo com maior importância num edifício por fornecer proteção quanto aos agentes atmosféricos contribuindo assim para o conforto e eficiência energética. Este elemento é responsável pela maioria das flutuações térmicas existentes devido à ascensão do ar quente que passa pelas camadas superiores. A aplicação de isolamento térmico é fundamental para criar uma barreira à transmissão de calor com o exterior e de certa forma intervir na redução das necessidades energéticas (Anastácio, 2010; Energuaia, 2013; Ferreira, 2009; Martins, 2014).

A aplicação de isolamento térmico na cobertura distingue-se segundo as seguintes soluções:

- Coberturas Inclinadas – pode ser isolada de duas formas (nas vertentes ou na esteira horizontal). No caso de o desvão ser habitável, aplica-se o isolamento nas vertentes e se este não for habitável aplica-se o reforço sobre a esteira horizontal. Em caso de não ser possível a remoção do revestimento exterior deve-se aplicar o isolamento térmico na face inferior da sua estrutura. O isolamento térmico nas vertentes é favorável a nível energético. A sua aplicação deve assegurar a existência de um espaço de ar ventilado, entre o revestimento exterior da cobertura (normalmente telha) e o

isolamento térmico, de forma a evitar a degradação dos materiais. Já o isolamento na esteira horizontal é aplicado se o desvão for acessível e garantir uma boa ventilação (Martins, 2014).

- Coberturas Planas - Existem três opções, estas diferem quanto ao posicionamento do isolamento térmico: superior, intermédio e inferior. O isolamento térmico pela face superior distingue-se dos restantes por ser utilizado com maior frequência. (Ferreira, 2009; Martins, 2014).

O pavimento é um elemento construtivo da envolvente que pode atingir 20% das perdas de calor totais de um edifício (Ferreira, 2009). Os pavimentos que estejam em contacto direto com o ambiente exterior ou com espaços não aquecidos devem possuir isolamento térmico de forma a aumentar o conforto interior e diminuir os riscos de condensações superficiais (Ferreira, 2009; Martins, 2014). O isolamento térmico pode ser aplicado de 3 formas: na face inferior do pavimento (indicado em reabilitações não destrutivas) quando essa zona do pavimento é acessível, na zona intermédia, sendo necessário recorrer a uma reabilitação destrutiva ou parcialmente destrutiva para inserir o isolamento no pavimento, ou na face superior, através de um isolante com adequada resistência à compressão para não perder espessura relativamente às atividades que possam ser exercidas nessa zona do pavimento (Martins, 2014).

2.4.2. Os Vãos Envidraçados e Caixilharias

Os vãos envidraçados são elementos descontínuos presentes num edifício, separando o espaço interior do exterior e são determinantes no balanço energético do mesmo. Podem ser responsáveis por cerca de 40% das perdas térmicas na estação fria, valores estes que variam segundo o tipo de caixilharia (material utilizado) e a qualidade dos vãos envidraçados (por exemplo simples ou duplo). São importantes na otimização do desempenho energético e no próprio ambiente interior do edifício (conforto acústico, térmico, visual e qualidade do ar) (Anastácio, 2010; Ferreira, 2009).

Através destes elementos é possível reduzir as infiltrações de ar não controladas que provocam perdas de calor ou ganhos excessivos e minimizar o efeito das pontes térmicas que se estabelecem (Anastácio, 2010; Ferreira, 2009). Segundo Silva (2012), reforçar o

isolamento dos vãos envidraçados é possível através da substituição de vidros simples por duplos, criação de janelas duplas (incorporação de um segundo caixilho), substituição dos componentes dos vãos por outros com melhor desempenho térmico (por exemplo, caixilharia com corte térmico) ou utilização de envidraçados de elevado desempenho térmico (vidros de baixa emissividade) (Anastácio, 2010; Silva(b), 2012).

Um vão envidraçado é composto por caixilharia e complementada por um dispositivo de proteção solar e/ou de oclusão noturna. A caixilharia possui funções importantes num edifício, apesar de representar uma pequena proporção na envolvente é um elemento de transição entre áreas opacas e áreas envidraçadas. Suporta as lâminas envidraçadas, garante estanquicidade dos espaços interiores e absorve movimentos diferenciais entre materiais. Para a especificação de uma caixilharia deve-se ter em conta o seu grau de estanquicidade e as propriedades do material que constitui o caixilho (como por exemplo, madeira, alumínio ou polietileno de vinilo (PVC)) (DGGE, 2004; Rosas, 2008).

Os dispositivos de sombreamento servem de proteção aos vãos envidraçados, permitindo o controlo das trocas de energia num edifício. A sua principal função é atenuar a incidência dos raios solares não desejáveis que atravessam o vidro (Marcos, 2013). Os dispositivos interiores servem para controlar a admissão de luz natural e a privacidade dentro num edifício, tendo apenas a função de completar os dispositivos exteriores (Ferreira, 2009). Os dispositivos exteriores, normalmente palas, estores ou persianas, devem ser aplicados nos vãos envidraçados orientados para a nascente, sul e poente, tendo em conta que em Portugal os vãos envidraçados que se encontram orientados a poente são os mais afetados a nível de sobreaquecimento (Ferreira, 2009; Marcos, 2013).

2.4.3. A Ventilação Natural

A ventilação natural é definida como um dos métodos mais antigos da renovação do ar saturado no interior de um edifício. Este tipo de ventilação aproveita a potencialidade dos fatores da natureza, não recorrendo ao uso de equipamentos mecânicos. O mecanismo natural ocorre através das diferenças de temperatura, ou, através das diferentes pressões resultantes do vento incidente nas fachadas do edifício (Machado, 2012). A renovação de ar com taxa adequada é fundamental para permitir uma boa qualidade de ar no interior do edifício e para assegurar maior eficiência no consumo induzido pelos equipamentos de

aquecimento/arrefecimento (DGGE, 2004). Para tal, é necessário ter um maior cuidado com as aberturas existentes no edifício e, especialmente, verificar se o dispositivo ou tecnologia existente está a cumprir os requisitos pretendidos. É considerada uma boa prática de ventilação natural instalar grelhas autorreguláveis nos quartos e salas, ventilador individual na cozinha e ventiladores estáticos nas instalações sanitárias (Freitas, 2008). Caso a ventilação natural se revele insuficiente, deve-se optar por instalar um sistema mecânico de extração devidamente dimensionado (DGGE, 2004).

2.5. As Soluções Ativas na Reabilitação

As soluções ativas são sistemas que surgem como apoio aos sistemas passivos com a finalidade de transformar energia primária em energia elétrica ou energia térmica. As soluções mais adequadas são as provenientes de fontes renováveis desde solar, eólica, geotérmica e biomassa, sendo alternativas fundamentais aos combustíveis fósseis pela contribuição na redução de emissões de gases de efeito de estufa. Os painéis solares fotovoltaicos e os painéis solares térmicos são os sistemas ativos que se encontram, com maior frequência, integrados nos edifícios por terem como base a captação de radiação solar através de painéis solares (Durão, 2013; Silva(b), 2012).

2.5.1. Os Sistemas Solares Fotovoltaicos

São dispositivos configurados para converter energia solar em energia elétrica. O princípio desta conversão baseia-se na utilização de células fotovoltaicas constituídas por materiais semicondutores capazes de produzirem corrente elétrica a partir da receção de raios solares e, posteriormente, entregá-la diretamente à rede (sistemas ligados à rede) ou utilizá-la para alimentar cargas em rede isolada (sistemas autónomos). Este sistema tem a grande vantagem de ser uma tecnologia amiga do ambiente (não poluente e silenciosa), apresentando elevada fiabilidade. A adaptabilidade dos módulos permite montagens simples e a energia produzida pode ser armazenada para aproveitamento quando não houver radiação. No entanto, os painéis solares fotovoltaicos apresentam elevados custos de investimento devido ao fabrico dos módulos, que se torna ainda mais elevado quando existe a necessidade de armazenar a energia obtida em baterias, e a sua produtividade é inconstante uma vez que depende do clima (Freitas, 2008; Martins, 2014).

2.5.2. Os Sistemas Solares Térmicos

São dispositivos configurados para transformar a radiação solar captada em energia térmica para aquecer água, ou outro fluido, a partir de coletores solares térmicos que posteriormente a transfere para um depósito de armazenamento. Os painéis solares térmicos destinam-se especialmente para o AQS em edifícios, mas também servem para aquecimento ambiente e aquecimento de piscinas (Dinis, 2010). O sistema solar termossifão, de circulação forçada e integrado são os três sistemas mais utilizados para produzir AQS no setor doméstico, reduzindo até 70% a 80% do consumo de energia (Dinis, 2010). Tal como os painéis fotovoltaicos, estes sistemas são amigos do ambiente e são uma fonte de energia económica, segura e limpa. No entanto, também apresentam épocas de pouca produtividade devido à redução do valor de radiação solar (Dinis, 2010).

2.5.3. As Microturbinas Eólicas

As microturbinas eólicas permitem captar a energia cinética do vento convertendo-a em energia mecânica que, consequentemente é convertida em energia elétrica. O vento é um elemento climático que apresenta intensidade irregular e a sua disponibilidade varia conforme o local. Para tal, torna-se necessário recorrer a sistemas de armazenamento de energia, como é o caso das baterias, que garantem segurança no abastecimento (CEEETA, 2001; Dinis, 2010). As microturbinas existentes são de eixo horizontal e de eixo vertical. Geralmente as de eixo horizontal são as mais procuradas por não exigirem mecanismos de orientação, no entanto as de eixo vertical destacam-se por apresentarem a vantagem de captar os ventos na base, sem necessidade do mecanismo de orientação (CEEETA, 2001).

2.5.4. Os Sistemas a Biomassa

A biomassa proporciona uma capacidade firme e previsível de satisfazer os consumos, sendo utilizada para os sistemas de aquecimento. Proveniente de matéria orgânica, de origem animal ou vegetal, representa importantes vantagens económicas e ambientais (Dinis, 2010). Normalmente é utilizada sob a forma mais tradicional (lenha e pinhas) ou sob a forma processada (pellets). Estas aplicações têm evoluído ao longo do tempo, proporcionando equipamentos mais eficientes e versáteis. Adicionalmente ajusta-se às necessidades de cada um por ser um combustível mais barato e ecológico (Martins, 2014).

Os equipamentos a biomassa (caldeiras e fogões) apresentam como grande vantagem uma elevada segurança de utilização, no entanto necessitam de um local para o armazenamento do combustível e as cinzas produzidas devem ser removidas periodicamente (Martins, 2014).

2.5.5. As Bombas de calor

São equipamentos com o mesmo tipo de funcionamento que os sistemas de ar condicionado ou frigoríficos. São capazes de transferir calor de uma fonte fria para uma fonte quente utilizando energia elétrica. Os três tipos de bombas de calor conhecidos são o ar/água, denominadas por aerotérmicas, quando a fonte de calor é o ar, solo/água e água/água, designadas de geotérmicas, nos casos em que a fonte de calor seja o solo ou a água, respetivamente. A grande vantagem destes equipamentos deve-se ao facto da energia produzida sob a forma de calor/frio ser superior à energia consumida sob a forma de eletricidade. O coeficiente de desempenho (COP no aquecimento e EER no arrefecimento) permite avaliar a eficiência de uma bomba de calor, baseando-se na razão entre a energia que fornece e a energia que absorve (Santos, 2013).

2.5.6. Reabilitação Energética de Sistemas e Instalações

Existe uma grande variedade de equipamentos alimentados a energia elétrica num edifício, nomeadamente, a iluminação artificial, eletrodomésticos e sistemas de climatização que são os de maior destaque. Os sistemas de iluminação devem sempre focar-se em recorrer, o máximo de tempo possível, à luz natural reduzindo o uso à luz artificial. Uma boa prática é optar por uma permuta de lâmpadas de baixo consumo, como por exemplo LEDs (Durão, 2013). Os eletrodoméstico e sistemas de climatização são necessários de substituir por outros mais eficientes. Hoje em dia, todos eles possuem uma certificação energética, facilitando a opção de escolha. Normalmente grande parte destes equipamentos possuem consumos subtile, em stand by (por exemplo LED aceso que serve de vigília) e em off mode (por exemplo carregador que não esteja a alimentar o computador mas esteja ligado à tomada). Estes consumos podem ser evitáveis através de soluções que controlem os mesmos. O recurso à domótica é a melhor opção uma vez que esta tecnologia permite a gestão de todos os recursos mecanizados, automatismos em material de segurança, climatização, gestão de energia e de comunicação (Durão, 2013; Mascarenhas, 2014).

2.5.7. Reabilitação na Perspetiva da Otimização da Eficiência do Uso da Água

O consumo de água potável tem tido tendência a aumentar e torna-se assim indispensável sensibilizar as pessoas para reverter esse facto. Para tal, é necessário adotar o uso de dispositivos e equipamentos de maior eficiência, como por exemplo bacias de retrete com implementação de redutores de descarga, chuveiros e torneiras com sistemas que diminuam o caudal, seleção de máquinas de lavar roupa ou louça que utilizem menos água no seu funcionamento e ainda, sistemas de reaproveitamento da água não potável através do armazenamento das águas pluviais e reutilização de alguns tipos de águas residuais domésticas. Mais importante ainda é mudar os hábitos aplicados pelos habitantes de forma a reduzir e ter cuidado com o consumo desta fonte (Dinis, 2010).

2.6. Estudos de Reabilitação Energética de Moradias Unifamiliares

2.6.1. Exemplos em Portugal

No estudo sobre o tema “**Definition of the energy performance requirements in rehabilitation project**” os autores Almeida *et al.* (2012) utilizaram um método de análise com diversos critérios pré-estabelecidos (variando de acordo com os objetivos e restrições do projeto), designado por ELECTRE III, numa moradia unifamiliar, construída na década de 1980, localizada no distrito de Braga, permitindo uma decisão fácil e rápida, na escolha das opções de uma reabilitação. Os critérios selecionados dividiram-se entre a energia final total, as emissões de CO₂, o custo final total, a qualidade do ar interior (considerado pela taxa de renovação do ar) e as condições de conforto térmico. O software eQuest, foi utilizado como programa de simulação dinâmico, para seleção das medidas de conservação e eficiência energética mais adequadas a serem implementadas durante o processo de reabilitação e o consumo de energia foi estimado, tendo em consideração as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, bem como a energia necessária para a produção de AQS e o cálculo da qualidade do ar interior de acordo com a regulamentação. Com os resultados obtidos foi possível definir nove opções de otimização, que abrangiam um conjunto de medidas de reabilitação adotadas, de um modo geral, em Portugal. Seguiu-se o projeto com abordagem por duas fases: a qualidade térmica da envolvente e dos

sistemas técnicos e a energia proveniente de fontes renováveis no local. Ao longo da análise dos diversos critérios implementados, foi possível verificar que, através da aplicação de 10 cm de poliestireno expandido na fachada e nas paredes que separam o prédio da área técnica, isolamento do telhado com 12 cm de lã mineral, instalação de vidros duplos com caixilho de alumínio com corte térmico e baixa emissividade, injeção de 4 centímetros de lã mineral nas caixas de estores e colocação de palas sombreadoras nas portas interiores, instalação de um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor e uma caldeira de condensação para o aquecimento e para AQS, seria possível reduzir as necessidades de energia em 83%, e possui um equilíbrio positivo de energia (entre a energia produzida e consumida), tudo com um período de retorno inferior a 7 anos.

Silva (2013) na sua dissertação, com o tema “Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspetiva de otimização da relação custo/benefício” pretendeu estudar o comportamento energético do parque residencial em Portugal. Para tal procurou soluções ótimas do ponto de vista custo/benefício para a reabilitação energética de determinado tipo de edifícios, nomeadamente moradias unifamiliares, construídas entre 1960 e 1980. Definiu como metodologia atuar na envolvente do edifício, sistemas de climatização e AQS e fontes de produção de energia renovável com o objetivo de definir, conhecer e propor ações de melhoria do desempenho energético do edifício em questão. Verificou que as soluções de reabilitação ótimas nos edifícios estudados são as que utilizam bombas de calor no elevado desempenho para climatização e o esquentador para o AQS. Uma vez obtidas essas soluções conclui que existe a possibilidade de reduzir custos adotando uma reabilitação energética.

No artigo científico, subordinado ao tema “Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade”, os autores Costa *et al.* (2014) tiveram como objetivo a identificação de medidas e soluções construtivas para a reabilitação de edifícios antigos, que conduzissem a edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e a níveis de sustentabilidade otimizados, procurando a melhor relação de custo/benefício. Para tal analisaram diversos edifícios reabilitados, localizados no centro histórico da cidade de

Viana do Castelo e construídos antes de 1951, em relação ao seu desempenho térmico e energético e de sustentabilidade. Os resultados correspondem a um caso de estudo representativo da análise efetuada dos restantes edifícios construídos antes de 1951, de modo a evitar repetições desnecessárias e a focar o estudo nos aspetos fundamentais que levassem a que as soluções de reabilitação conduzissem a edifícios de balanço energético nulo.

Como metodologia de análise os autores apoiaram-se na aplicação do RCCTE com recurso ao software Cypeterm (certificado pela ADENE) para análise do desempenho energético. Também realizaram uma avaliação da sustentabilidade do edifício, utilizando a ferramenta SBToolpt-H, metodologia adaptada ao contexto nacional português, e que tem por base a metodologia internacional SBTool. Esta ferramenta tem como objetivo apoiar as equipas de projeto, desde as etapas mais preliminares de conceção de edifícios de habitação sustentáveis, e permitir a avaliação e certificação da sustentabilidade de edifícios existentes, novos e renovados, situados principalmente em zonas urbanas. Este método baseia-se num sistema constituído por 25 parâmetros agrupados em 9 categorias, as quais se agrupam nas três dimensões da construção sustentável, a dimensão ambiental, social e económica.

De modo a facilitar a análise de diferentes medidas, foram definidos três níveis de Reabilitação nos edifícios: **Reabilitação Básica** que assegura apenas a estabilidade estrutural e salubridade do edifício; **Reabilitação Energética** resulta da introdução de medidas de modo a obterem-se melhores resultados na avaliação do desempenho energético e cumprindo os requisitos regulamentares impostos pelo RCCTE; **Reabilitação Sustentável** resulta da introdução de medidas de melhoria na Reabilitação Energética, de modo a que todos os edifícios se tornem num edifício nZEB e que obtenham um bom nível de sustentabilidade, classe A+, A ou B.

Concluiu-se que a maioria dos edifícios antigos e localizados nos centros históricos não se adequam às exigências regulamentares atuais, devido à falta de conforto proporcionada, designadamente em termos de conforto térmico. Através da análise energética provaram que a escolha de proteções solares exteriores em vez das interiores fazem diminuir consideravelmente as necessidades energéticas na estação de arrefecimento, uma vez que a radiação que atravessa o envidraçado é reduzida. A escolha dos equipamentos de

climatização e de AQS é a opção que mais influencia o valor das necessidades globais de energia. A obtenção de edifícios de balanço energético nulo implica optar por equipamentos com fontes de energia renováveis.

Relativamente ao estudo da sustentabilidade ficou provado que a nível ambiental, a reutilização do solo, a reutilização e a escolha criteriosa de materiais garante um reforço da sustentabilidade; a redução das necessidades energéticas faz aumentar os níveis de sustentabilidade do edifício, devido à redução do custo associado à análise do ciclo de vida e à redução do consumo de energia primária não renovável.

A localização do edifício influencia o seu desempenho na sustentabilidade. Edifícios que se situam em centros históricos das cidades possuem acesso facilitado a um vasto conjunto de amenidades, bem como uma malha mais densa de transportes públicos. Em resumo, os treze casos de estudo apresentaram no decorrer deste trabalho, a possibilidade de efetuar um estudo de reabilitação de edifícios antigos de forma sustentável, com necessidades quase nulas de energia, sendo tudo isto possível sem custos excessivos.

Diogo Silva (2014), na sua dissertação “Reabilitação energética de edifícios face à nova regulamentação”, procurou explorar o novo diploma regulamentar e as mudanças metodológicas em relação ao antigo (RCCTE), utilizando a folha de cálculo de aplicação regulamentar, proceder aos cálculos associados para os edifícios selecionados, identificar as dificuldades no cumprimento do REH em intervenções de reabilitação e verificar como se comportam os edifícios relativamente às necessidades de aquecimento, arrefecimento e de energia primária com as várias soluções de reabilitação propostas. Desta forma, aplicou o novo regulamento de desempenho energético de edifícios de habitação (REH) a três edifícios de habitação sendo dois deles multifamiliares e outro unifamiliar. Nas suas conclusões, o autor salienta que existem edifícios de habitação para os quais a reabilitação energética é mais compensatória, sendo desta forma necessário avaliar todas as possibilidades de reforço energético de uma habitação, e priorizar aquelas que necessitam de intervenção urgente. Reforça ainda que uma melhoria energética é sempre conveniente, por mais pequeno que seja o ganho de energia. O acréscimo de eficiência é sempre recompensador tendo consciência que a não mudança da classe energética não implica que a habitação não seja mais eficiente do que a solução original.

2.6.2. Outros Exemplos na Europa

Os autores Pardo & Thiel, 2012 no artigo científico **“Evaluation of several measures to improve the energy efficiency and CO₂ emission in the European single-family house”**, estudaram a forma como o consumo de energia, as emissões de CO₂ e os custos associados são afetados por diferentes medidas que podem ser adotadas para satisfazer a necessidade de energia em moradias unifamiliares da UE. Começaram por agrupar os vários países da UE em três áreas climáticas: Sul, Centro e Norte e para cada uma das áreas foi selecionada uma moradia unifamiliar como referência de forma a avaliarem os consumos de energia, emissões de CO₂ e custos de vários sistemas de energia. Os resultados mostraram que a aplicação de isolamento exterior em paredes, coberturas e janelas é uma forma importante de reduzir emissões de CO₂ e o consumo de energia no aquecimento e arrefecimento das moradias unifamiliares analisadas. A bomba de calor, nos sistemas de aquecimento e arrefecimento, foi o equipamento que apresentou menores consumos de energia, e as caldeiras de biomassa produziram menores emissões de CO₂. O sistema solar destinado a AQS, bem como os sistemas fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas, foram algumas das soluções na redução/independência do consumo energético e no abatimento emissões de CO₂. Os autores observaram que os equipamentos que permitem maior eficiência energética têm um maior investimento inicial, e que os equipamentos que permitem menores emissões de CO₂ têm menores custos de manutenção.

O artigo científico **“State of the Irish housing stock - Modelling the heat losses of Ireland’s existing detached rural housing stock & estimating the benefit of thermal retrofit measures on this stock”**, dos autores Ahern *et al.* (2013), foi realizado no contexto da habitação rural do estado do parque habitacional irlandesa, partindo da modelação das perdas de calor de um conjunto de moradias rurais existente na Irlanda e da estimativa do benefício das medidas de reabilitação térmica nesse mesmo parque. Desta forma os autores investigaram a implementação e um conjunto de medidas de reabilitação térmica, tanto ao nível económico e como nas emissões de CO₂, em moradias existentes que possuíam aquecimento central a óleo.

O trabalho desenvolvido pressupõe a criação de um conjunto de medidas térmicas a serem aplicadas a uma amostra de moradias rurais unifamiliares, assumindo que todas as moradias tinham características de construção similares, de acordo com o período de construção (antes de 1900 até 2005-2006) que seguiram o Ireland's national Dwelling Energy Assessment Procedure (DEAP) que se trata de uma implementação irlandesa da diretiva europeia no desempenho energético de edifícios (Diretiva 2002/91/CE, EPBD). Com o estudo possibilitaram a definição de um conjunto de medidas de eficiência energética, devidamente categorizadas e suportadas pelo governo irlandês. As medidas de reabilitação térmica das moradias têm potencial para obter, em média, uma redução teórica de 65% nos custos de aquecimento e nas emissões de CO₂, para casas construídas antes de 1979 (coincidentes com a introdução de normas de construção) e cerca de 26% para as casas mais recentes, oferecendo assim uma contribuição significativa (44%) nas projeções de redução de CO₂ no setor residencial na Irlanda. Também concluíram que o fator que mais influência as perdas de calor numa moradia rural é o aumento da área de pavimento, que afeta diretamente o aumento dos envidraçados e, conseqüentemente, o aumento das pontes térmicas e perdas por ventilação.

Beccali *et al.* (2013) no artigo científico “**Energy retrofit of a single-family house: Life cycle net energy saving and environmental benefits**”, fizeram uma abordagem ao ciclo de vida de uma moradia unifamiliar do mediterrâneo, estudando a economia energética e os benefícios ambientais. Desta forma, planearam um conjunto de ações de reabilitação energética para aumentar a eficiência do edifício em estudo, localizado em Palermo, no sul de Itália. As ações propostas foram direcionadas na melhoria do desempenho térmico da envolvente do edifício e da eficiência energética dos equipamentos técnicos, tendo em conta também as outras fases do ciclo de vida do edifício. De facto estas propostas causam um aumento da energia incorporada no material do edifício, utilizado no transporte e nos processos de construção (manutenção e demolição). No final do estudo, verificaram que o desempenho energético e ambiental de um edifício é dependente de diversos fatores, tais como as condições climáticas da localidade de implantação, a escolha dos materiais a aplicar na envolvente, plantas e equipamentos, design, instalações e o seu uso. Os resultados apontam para a relevância da LCA (life cycle assesement, metodologia utilizada para estimar o perfil económico do edifício) na avaliação da energia de edifícios e

do desempenho ambiental, havendo uma forte interação entre todas as fases do ciclo de vida do edifício.

2.6.3. Outros Exemplos Relevantes de Reabilitação Energética

Os autores Imessad *et al.* (2014) no artigo científico “**Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate**”, desenvolvido para uma realidade fora do contexto europeu, avaliaram o impacto das técnicas de arrefecimento passivo na redução do consumo de energia em edifícios residenciais, num clima mediterrânico. O objetivo principal dos autores passou por demonstrar que podia ser obtido um reforço do desempenho energético através de estratégias de baixo consumo energético em clima mediterrânico, tendo como base um protótipo de uma habitação construída no âmbito do MED-ENEC Project (Eficiência Energética do Mediterrâneo no Setor de Construção), que foi projetado e construído de acordo com as medidas de eficiência energética na Argélia para melhorar o conforto térmico do edifício, particularmente no verão.

O estudo incluiu uma série de medições experimentais e simulações numéricas em regime dinâmico. Os resultados demonstraram que as necessidades de energia para arrefecimento são mais afetadas pelo valor do coeficiente de transmissão térmica do que pela massa térmica da envolvente. A inércia térmica tem um efeito positivo sobre as estratégias de poupança de energia, desde que a envolvente do edifício seja isolada termicamente. Em climas mediterrânicos como o norte da Argélia, o uso de técnicas de arrefecimento passivo, tais como a ventilação natural e isolamento, proporcionam um potencial significativo de economia de energia; para edifícios localizados a latitudes que rondam os 36°N, a projeção ideal das janelas é a sul; A simulação com diferentes trocas de ar na ventilação noturna demonstram que a envolvente do edifício com elevada massa térmica e isolamento externo possui um maior potencial de poupança de energia para arrefecimento; Uma ventilação natural noturna de 8 Rph pode reduzir as necessidades de energia de arrefecimento para o dia por cerca de 10 kWh/(m².ano). Concluindo, assim, que a combinação de diferentes técnicas de arrefecimento passivo como o isolamento térmico, massa térmica, sombreamentos de janelas e ventilação noturna são as estratégias mais eficazes, tanto do ponto de vista do consumo energético como de conforto térmico dos edifícios.

3. Apresentação do Caso de Estudo

3.1. Caracterização Arquitetónica

A moradia unifamiliar em estudo (Figura 4) encontra-se situada na freguesia de Torre, concelho de Viana do Castelo. Esta foi construída em 1962, tendo sido posteriormente, remodelada em 2006 sem quaisquer preocupações de eficiência energética. A habitação possui 3 pisos (rés-de-chão, primeiro e segundo andar). No rés-de-chão existe um espaço com possibilidade de adaptação a comércio.



Figura 4 - Fotografia da moradia em estudo.

Nas Figuras 5 a 11 são apresentados os desenhos de arquitetura, criados no programa AutoCad, dos alçados norte, sul, este e oeste bem como alguns cortes do edifício. Adicionalmente serão apresentadas as plantas do rés-de-chão, primeiro e segundo andares da moradia.

3.1.1. Alçados e Cortes

Na Figura 5 é apresentado o alçado sul da moradia, que está diretamente em contacto com a estrada. Do lado esquerdo da moradia existe uma zona de serviço com possibilidade de instalação de comércio.

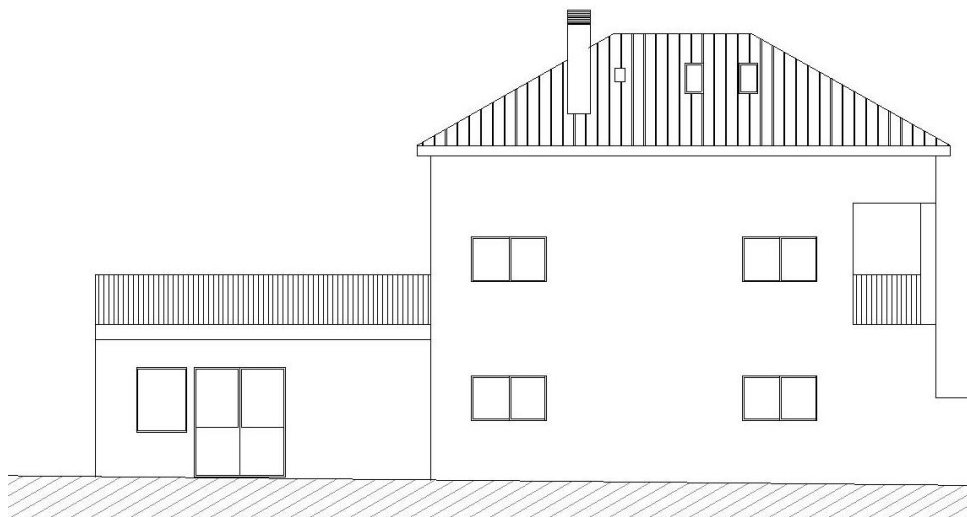


Figura 5 - Alçado sul da moradia.

Na Figura 6 apresenta o corte longitudinal (corte A, A' nas plantas) onde se pode observar o interior da habitação. O rés-de-chão da habitação tem um pé-direito de 2,75 m, o 1º andar de 2,45 m e o 2º andar de 2,85 m.

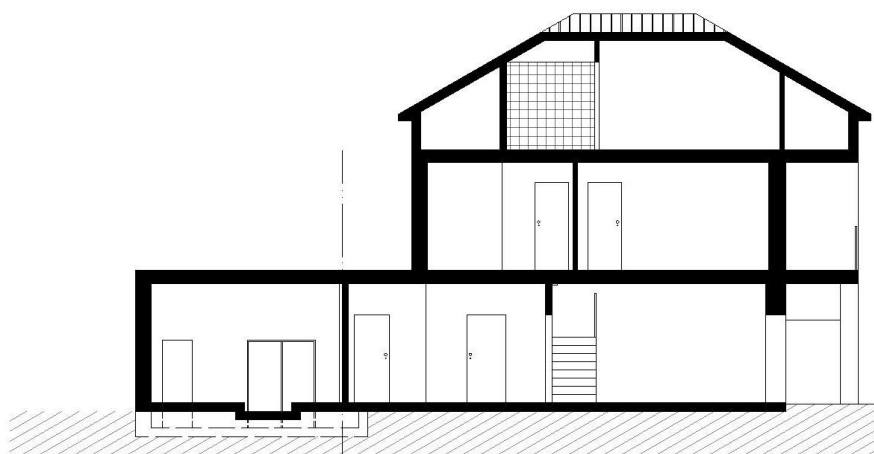


Figura 6 - Corte longitudinal do alçado sul da moradia.

A Figura 7 apresenta o alçado norte da moradia. Na fachada norte da habitação existe uma janela correspondente à caixa de escadas (orientação vertical) e outra que pertence ao WC do rés-do-chão (orientação horizontal). É evidente uma claraboia na cobertura. Observa-se

ainda um corredor e uma escada com acesso ao terraço, o qual se encontra sobre a zona de serviço. No interior deste último compartimento existe uma porta que dá acesso direto ao corredor exterior.

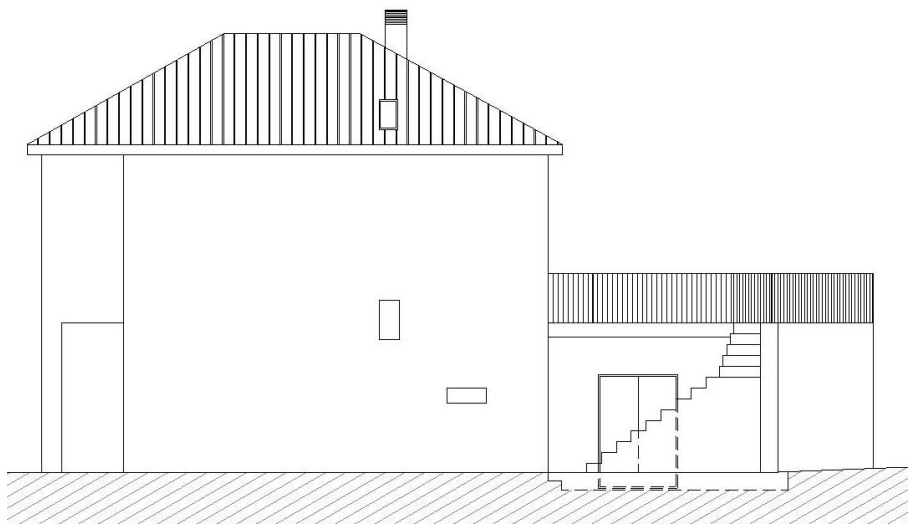


Figura 7 - Alçado a norte da moradia.

Na Figura 8 é apresentado o alçado orientado a este da habitação, onde se pode observar a porta de entrada e a varanda que está diretamente em contacto com dois quartos.

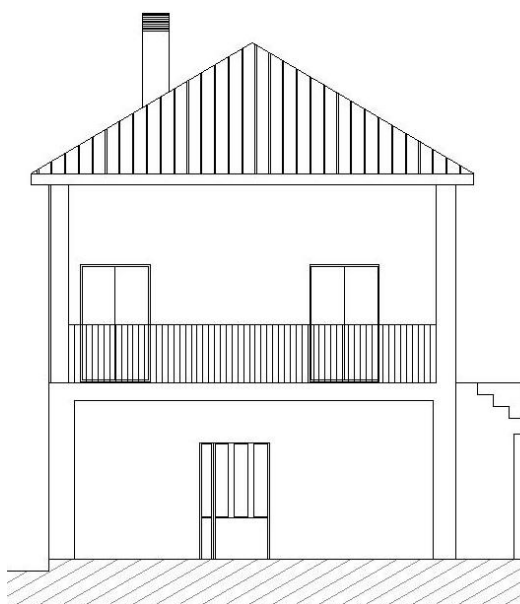


Figura 8 - Alçado este da moradia.

A Figura 9 apresenta um corte transversal do alçado este (corte C, C' nas plantas) onde é evidente a escadaria que dá acesso a todos os pisos.

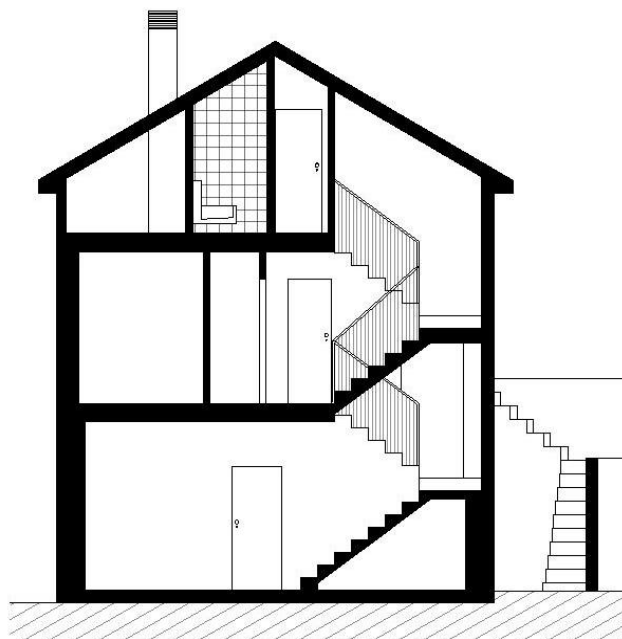


Figura 9 - Corte transversal do alçado este da moradia.

O corte transversal observado na Figura 10 é efetuado na zona de serviço (corte B, B' nas plantas). Esta zona possui dois pés-direitos diferenciados: o maior apresenta cerca 2,95 m e o menor 2,75 m.

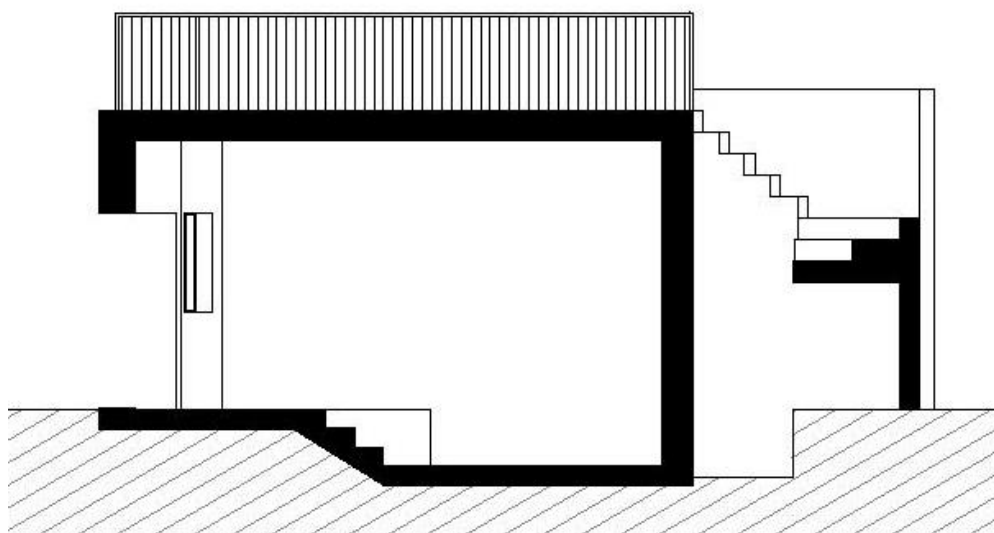


Figura 10 - Corte transversal da zona de serviço.

A Figura 11 apresenta o alçado oeste da moradia em estudo, onde se localiza o terraço com acesso a um dos quartos e à janela do WC do piso 1.

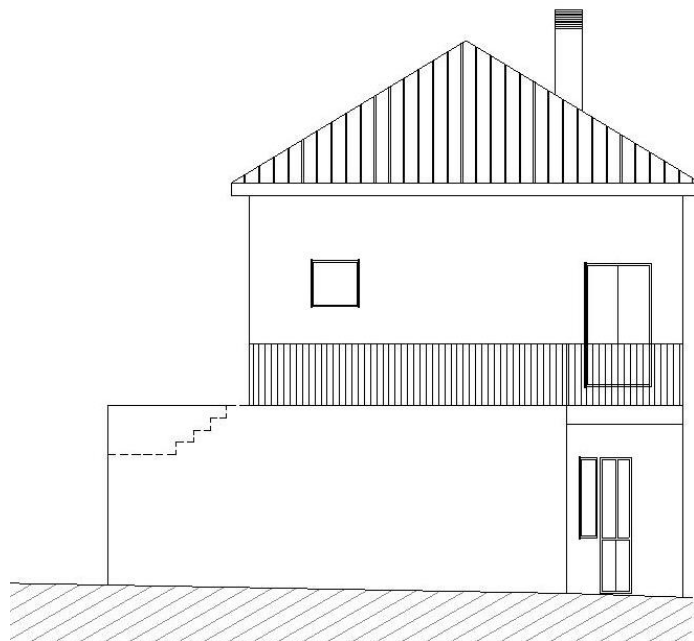


Figura 11 - Alçado oeste da moradia.

3.1.2. Plantas da Moradia

A Figura 12 representa a planta do rés-de-chão da moradia, destaca-se a existência de uma sala, um WC, uma cozinha e uma zona de serviço (representado à esquerda na planta).

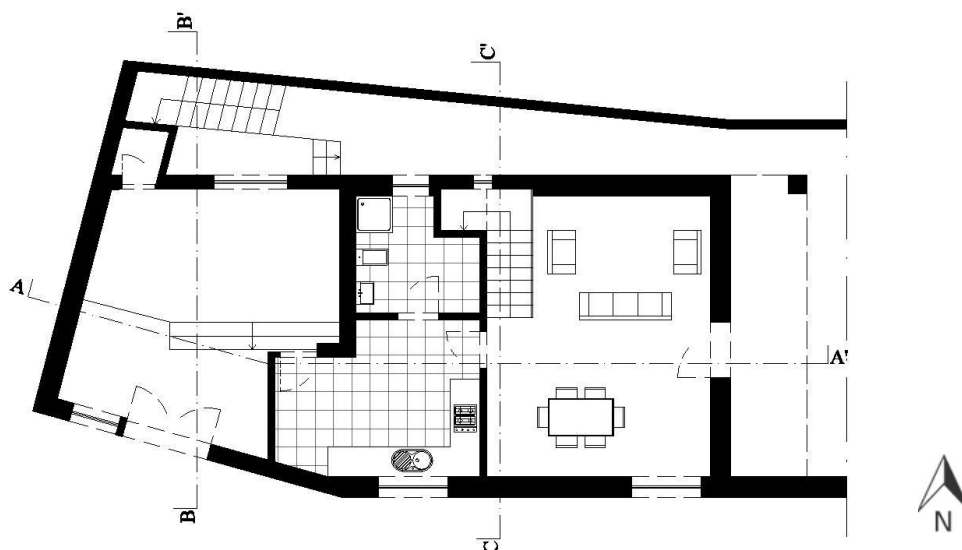


Figura 12 - Planta do rés-do-chão da moradia.

Na Figura 13 representa-se a planta do 1º andar, constituído por 3 quartos (quarto orientado a norte (QN), quarto orientado a sul à direita (QSN) e quarto orientado a sul à esquerda

(QSE)) e um WC. Neste piso também é possível observar a varanda (do lado direito) e o terraço (do lado esquerdo).

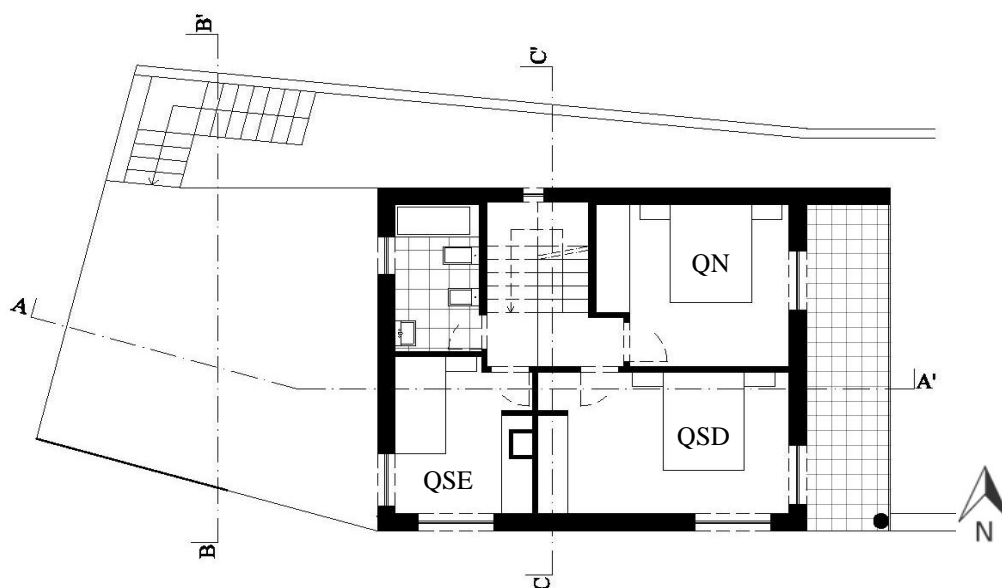


Figura 13 - Planta do primeiro andar da moradia.

Na Figura 14 representa-se a planta do segundo piso, que é constituído por um quarto, um WC e duas zonas de arrumações (nas laterais).

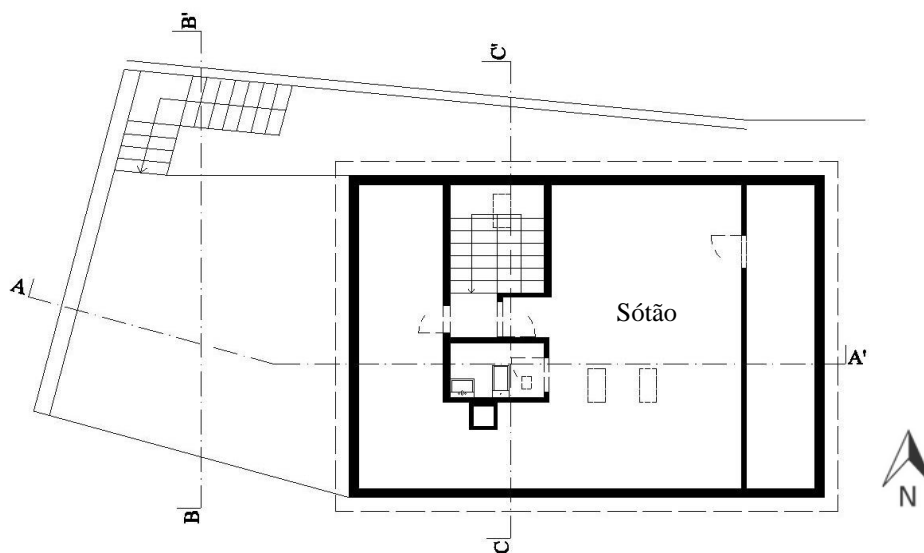


Figura 14 - Planta do segundo andar da moradia.

Na Figura 15 apresenta-se a planta da casa onde é possível observa-se a cobertura inclinada constituída por 4 águas e a cobertura plana da zona de serviço (terraço).

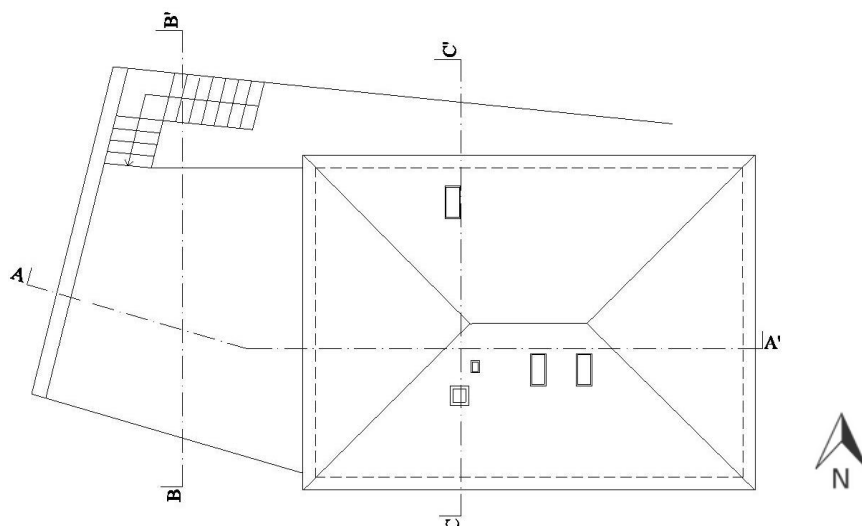


Figura 15 - Planta da moradia vista de cima.

3.2. Soluções construtivas

Nas figuras 16 a 28 são apresentados os cortes representativos dos diversos elementos construtivos da moradia em estudo, tendo em conta os materiais constituintes e as respetivas espessuras associadas.

3.2.1. Paredes Exteriores

- Rés-do-Chão

As paredes exteriores da habitação orientadas a sul, norte e este possuem as características construtivas destacadas na Figura 16.

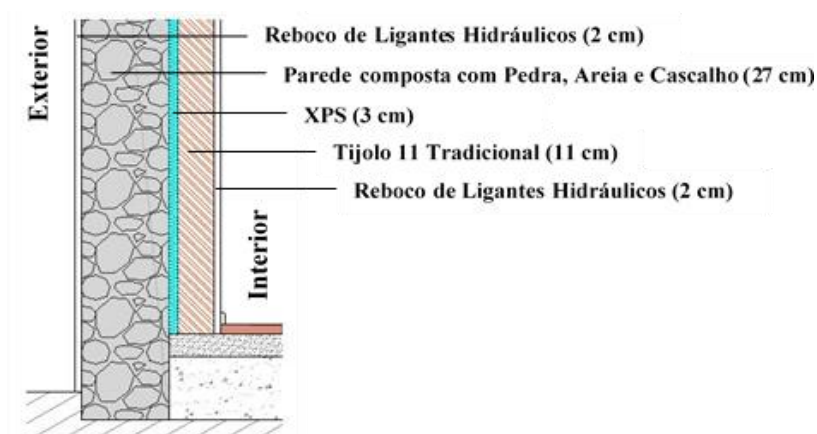
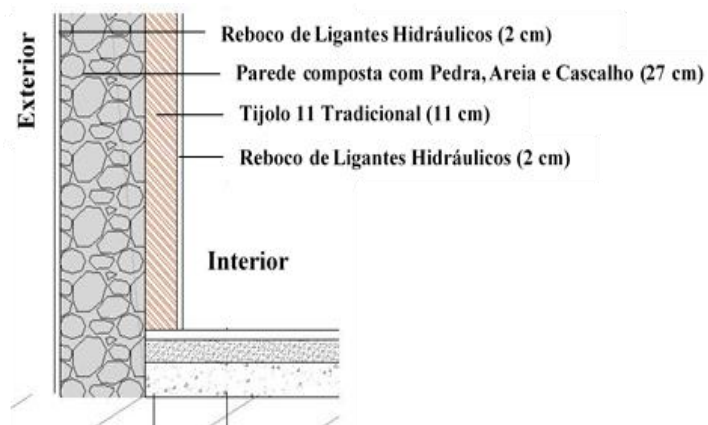
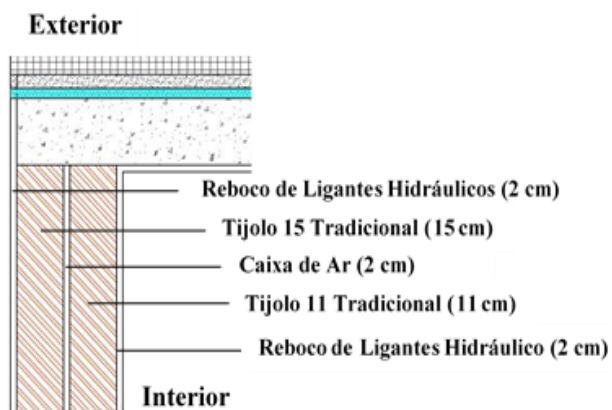


Figura 16 - Paredes exteriores da habitação orientadas a sul, norte e este da moradia.

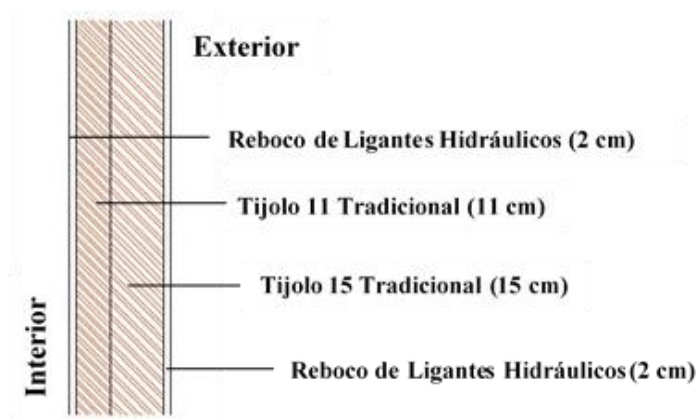
As paredes orientadas a oeste e a sul, na zona de serviço, têm as características construtivas apresentadas na Figura 17.



A Figura 18 diz respeito às paredes orientadas a norte da zona de serviço.



A parede orientada a norte da caixa de escadas tem as seguintes características construtivas representadas na Figura 19.



- **Piso 1**

Todas as paredes da envolvente exterior deste piso (norte, sul, este e oeste) apresentam a constituição, como se visualiza na Figura 20.

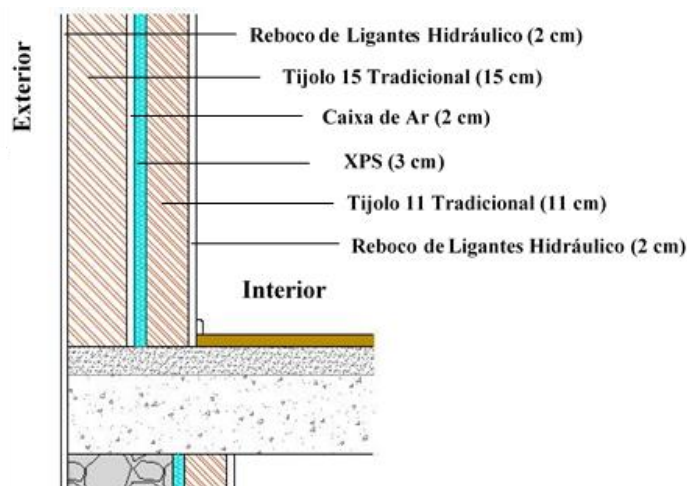


Figura 20 - Paredes exteriores do primeiro piso.

- **Piso 2**

Na Figura 21, no piso 2, as paredes exteriores possuem as seguintes características construtivas:

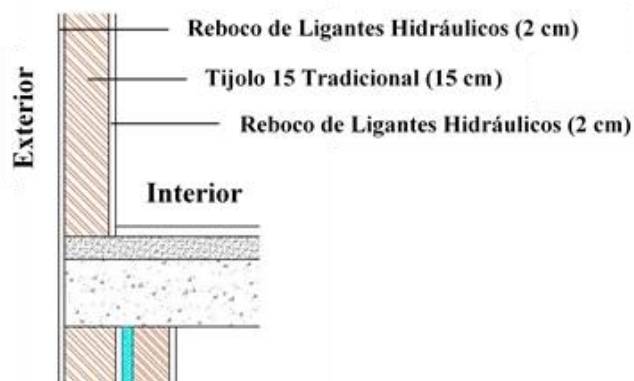


Figura 21 - Paredes exteriores do segundo piso.

3.2.2. Paredes Interiores

As paredes divisórias interiores do rés-de-chão são todas elas constituídas por tijolo 15 tradicional como apresenta a Figura 22, bem como as paredes divisórias que estão diretamente em contacto com a caixa de escadas (plantas do Piso 1 e Piso 2).

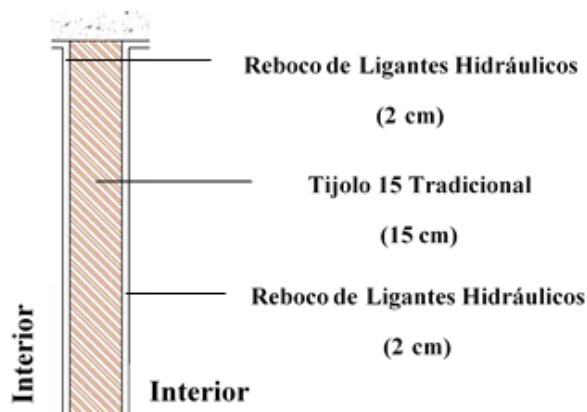


Figura 22 - Paredes divisórias interiores do rés-de-chão.

As paredes divisórias interiores existentes no piso 1 são todas elas compostas por tijolo 7 tradicional e rebocadas nas duas faces (Figura 23).

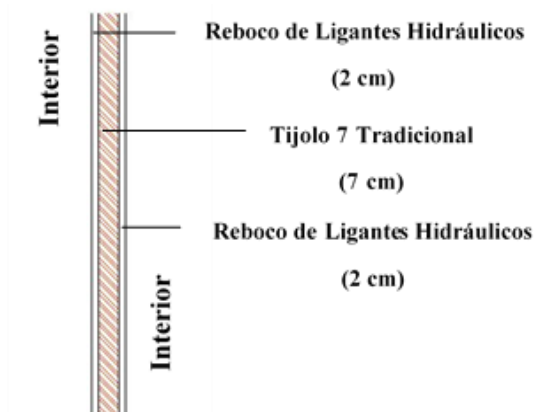


Figura 23 - Paredes interiores divisórias do piso 1.

A Figura 24 representa a parede divisória apenas existente na zona de serviço que separa o WC do rés-de-chão e a da cozinha (planta de rés-de-chão).

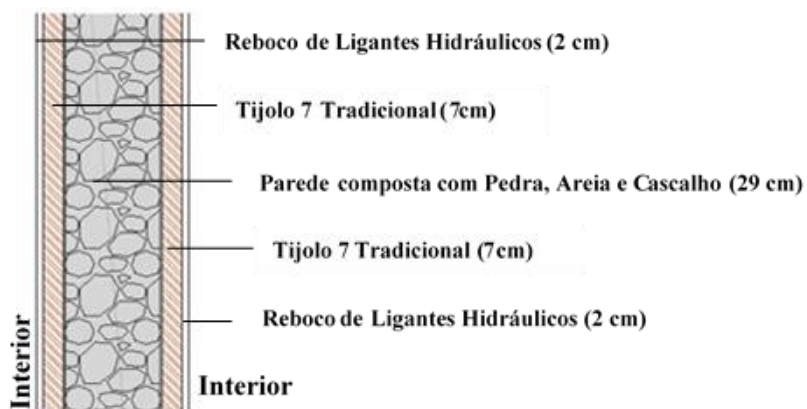


Figura 24 - Parede interior que separa zona de serviço da cozinha e WC.

3.2.3. Coberturas

A Figura 25 representa a cobertura inclinada constituída por quatro águas. A solução construtiva com desvão habitável é a seguinte.

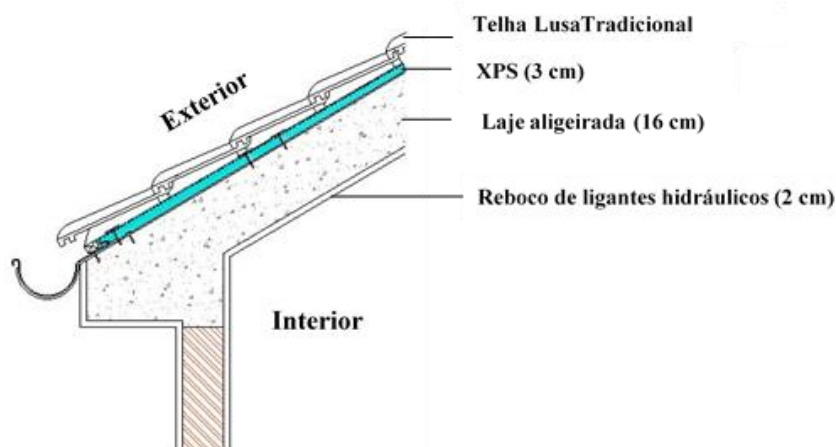


Figura 25 - Cobertura inclinada da moradia.

A cobertura plana situada na zona de serviço tem uma escada exterior que permite o seu acesso, sendo utilizada como terraço. Esta apresenta a seguinte constituição construtiva (Figura 26):

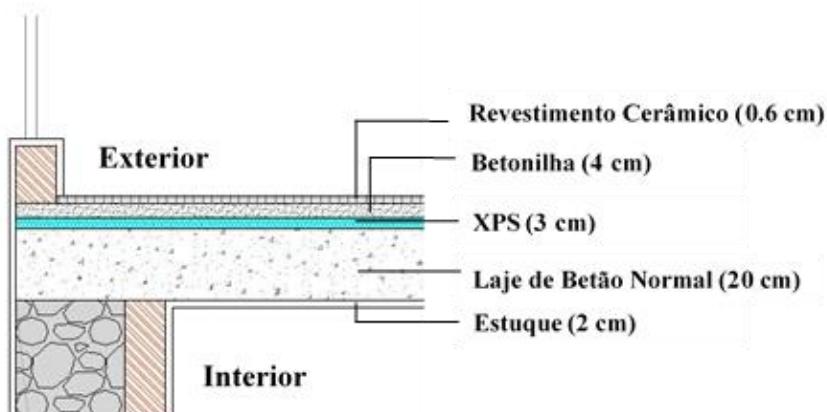


Figura 26 - Cobertura plana da moradia.

- **Pavimentos**

A Figura 27 representa o pavimento do rés-de-chão que é todo ele constituído pela seguinte solução construtiva:

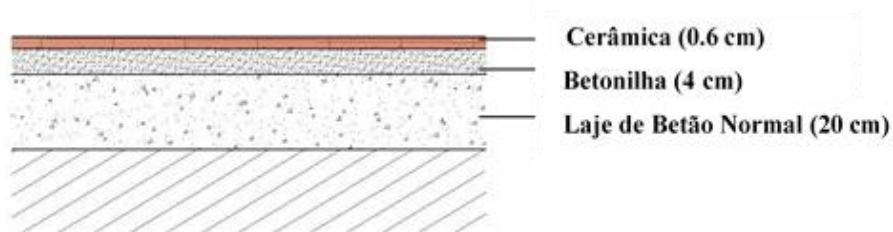


Figura 27 - Pavimento do rés-do-chão.

O pavimento do primeiro e segundo piso apresentam ambos a seguinte solução construtiva (Figura 28).

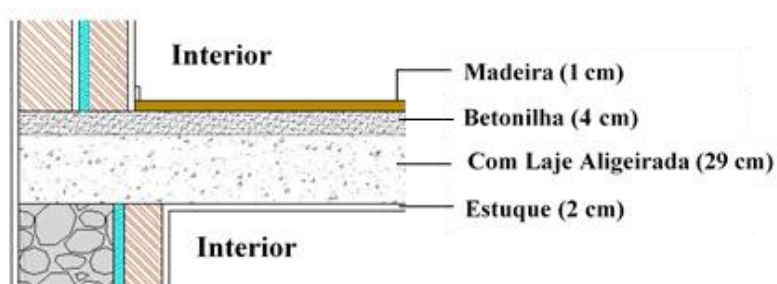


Figura 28 - Pavimento do primeiro e segundo piso.

3.2.4. Envidraçados

As tabelas que se seguem (Tabela 1 a Tabela 5) caracterizam os envidraçados existentes na moradia em estudo.

Tabela 1 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de serviço).


Imagem	Descrição
Zona de Serviço	
	A entrada da zona de serviço é constituída por duas portas de alumínio, com vidro duplo (20 mm de espessura). (1,60 m x 2,20 m)

Tabela 2 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de serviço) (cont.).



Imagem	Descrição
Zona de Serviço	
	<p>Na fachada sul existe uma janela dupla fixa (20 mm de espessura) com caixilharia de alumínio.</p> <p>(1,05 m x 1,28 m)</p>
	<p>Ainda nesta zona encontra-se uma porta-janela de correr envidraçada com vidro duplo de 20 mm com caixilharia de alumínio, orientada a norte.</p> <p>(1,60 m x 2,32 m)</p>

Tabela 3 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de habitação).


Imagem	Descrição
Zona de Habitação	
	<p>As janelas do Rés-de-Chão e do piso 1 da habitação, situadas na fachada Sul, são constituídas por caixilharias de alumínio e com vidros duplos com 20 mm de espessura.</p> <p>(1,35 m x 1,08 m)</p>

Tabela 4 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de habitação) (cont.).




Imagem	Descrição
Zona de Habitação	
	<p>A porta de entrada da habitação é composta por alumínio e dois vidros duplos (espessura 20 mm).</p> <p>(1,20 m x 2,00 m)</p>
	<p>Cada quarto do piso 1 tem uma porta-janela envidraçada de correr composta por caixilharia de alumínio e com vidros duplos de 20 mm.</p> <p>(2,00 m x 1,06 m)</p>
	<p>O WC do piso 1, situado na fachada Oeste, tem uma janela oscilobatente (possibilita dois tipos de aberturas) com vidro duplo (20mm de espessura) e caixilharia de alumínio.</p> <p>(0,76 m x 0,73 m)</p>

Tabela 5 - Descrição dos envidraçados existentes na moradia (zona de habitação) (cont.).

Imagem	Descrição
Zona de Habitação	
	<p>O WC do rés-de-chão possui uma janela basculante superior, situada na fachada Norte. A janela é dupla (20 mm de espessura) com caixilharia de alumínio.</p> <p>(0,80 m x 0,30 m)</p>
	<p>Na caixa de escadas encontra-se um poço de luz constituído por oito tijolos de vidro (com dimensão 19x19x16 cm cada).</p> <p>(0,40 m x 0,80 m)</p>
	<p>No piso 2 existem 3 clarabóias em caixilharia de plástico com vidro duplo de 12 mm de espessura. Duas clarabóias encontram-se na cobertura orientada a sul (situadas no quarto existente no piso 2) e outra orientada a norte (situada na caixa de escadas da moradia).</p> <p>(0,36 m x 0,72 m)</p>
	<p>No WC do piso 2 existe uma janela fixa de vidro simples com caixilharia de madeira. Encontra-se na cobertura orientada a sul.</p> <p>(0,13 m x 0,17 m)</p>

A moradia apresentava elevadas perdas de calor no inverno, principalmente pelas caixas de estores, criando um grande desconforto no interior da habitação. Em 2014 foi implementada uma solução de reabilitação, que consistiu em colocar novas janelas e porta-janelas com caixilharia de alumínio e de vidros duplos com 20 mm de espessura, pelo exterior dos envidraçados existentes (4 janelas da fachada sul e 3 porta-janelas existentes nos quartos do piso 1) (Figura 29).

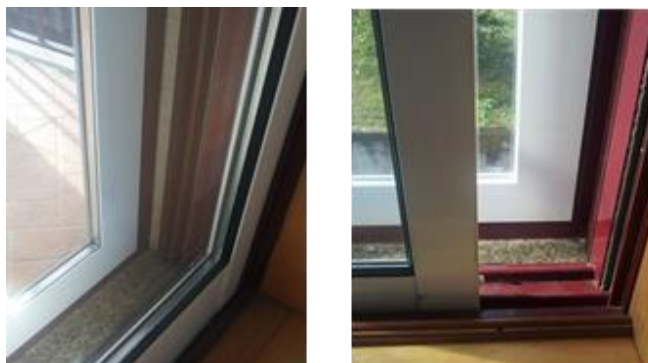


Figura 29 – Solução porta-janelas (lado esquerdo) presentes no piso 1 e janelas (lado direito) existentes no rés-de-chão e piso 1.

O isolamento de todas as caixas de estores tornou-se uma solução impossível, dado não haver espaço suficiente para aplicar o isolamento no seu interior. Com a solução implementada, melhorou-se o conforto térmico no interior da habitação, alcançando-se temperaturas mais confortáveis e uma grande diminuição dos ruídos vindos do exterior.

3.3. Caracterização dos sistemas e equipamentos

Os sistemas e equipamentos presentes na moradia são os seguintes:

Sistema de AQS

A casa está provida de um esquentador Tic-Tic WE5 da Vulcano que utiliza gás propano, com um rendimento de 82%, e com uma potência de 8,7 kW. Possui um sistema de apoio do tipo termossifão, cujo funcionamento se baseia no princípio de circulação natural, não sendo necessário um circulador, nem um sistema de controlo. O sistema BAIXIROCA STS 300 é constituído por dois coletores solares NEOS, com cerca de 2 m² cada, associados a um depósito de 300 litros. O rendimento ótico é de 75,90 %, coeficiente de perdas térmicas (k1) de 3,480 (W/m² °C), coeficiente de perdas térmicas (k2) de 0,0161 (W/m² °C) e uma pressão máxima de trabalho de 10 bar.

Sistema de ventilação

Não existe qualquer ventilação mecânica, sendo o edifício ventilado de forma natural através das grelhas com abertura de 95 cm² ligadas com o exterior através de condutas. Estas estão em todos os WC da moradia, e ainda, existe um exaustor presente na cozinha que é apenas utilizado para cozinhar, com uma eficiência do ventilador de 70 %, um aumento de pressão até 100 Pa, um caudal máximo de 1000 m³/s e uma eficiência do motor de 90%.

Sistema de aquecimento

Existe na sala de estar da moradia uma salamandra alimentada a biomassa sólida e com cerca de 12 anos. Apresenta um rendimento de 68% e possui uma potência de cerca de 7,5 kW.

4. Simulação Numérica em Regime Dinâmico e Permanente

4.1. Objetivos e Metodologia

O principal objetivo da simulação numérica consiste em avaliar o conforto térmico e a eficiência energética da moradia tomada como caso de estudo. Para o efeito foram realizadas duas análises distintas, uma em regime dinâmico, recorrendo a um programa de simulação numérica devidamente validado e outra em regime permanente, recorrendo a um software específico de ampla utilização comercial.

A simulação em regime dinâmico assenta numa metodologia de análise baseada em três passos:

- 1) Criação de um modelo geométrico da moradia, onde se delimitaram as zonas térmicas existentes e se definiram as condições fronteiras da sua envolvente;
- 2) Seleção de um programa de cálculo numérico em regime dinâmico devidamente validado para a simulação a realizar e execução de um conjunto de parâmetros suportados pelo ficheiro climático do local onde se situa a moradia tomada como caso de estudo.
- 3) Análise dos resultados obtidos.

A simulação em regime permanente segue uma metodologia de análise baseada em três passos:

- 1) Seleção de um programa fiável que permitia avaliar o cumprimento das exigências regulamentares aplicáveis e analisar o seu desempenho energético.

- 2) Criação do modelo geométrico da moradia, delimitando-se as suas zonas térmicas, definiu-se os materiais que a constituem e os sistemas existentes. Por último, atribui-se uma descrição de propriedades a cada compartimento.
- 3) Análise dos resultados obtidos.

4.2. Simulação em Regime Dinâmico vs Simulação em Regime Permanente

O estudo da simulação numérica em regime dinâmico permite, em tempo real, analisar o comportamento térmico de um edifício, tendo como ponto de partida um programa de cálculo numérico (Curado, 2014).

A simulação em regime permanente apoia-se em metodologias simplificadas para as quais a temperatura média exterior assumida é obtida para condições nominais, no inverno e no verão. Consequentemente, não se realizam avaliações precisas dos ganhos solares, ganhos internos e trocas de radiação, nem ensaios estratégicos acerca da utilização dos equipamentos. Este regime é normalmente aplicado nas fases iniciais de conceção de edifícios, uma vez que não exige cálculos rigorosos e demorados (Rodrigues *et al.*, 2009).

4.3. Simulação em Regime Dinâmico

4.3.1. Seleção do Programa de Simulação Numérica

Para a simulação do comportamento térmico em regime dinâmico da moradia foi selecionado o programa de cálculo automático EnergyPlus versão 8.1.0.009 (EnergyPlus, 2015), dado comprovada a sua capacidade em avaliar o desempenho térmico, de forma dinâmica, e de avaliar o consumo de energia ao longo de um período de tempo pré-determinado (Curado, 2014; Machado, 2012; Silva, 2010).

O software EnergyPlus disponibiliza-se de forma gratuita no mercado. A sua utilização exige a criação prévia de um modelo geométrico da moradia tomada como caso de estudo, compartimentando os espaços e criando zonas térmicas associadas a um ficheiro de dados climáticos. Posteriormente estabelece-se um dos resultados obtidos para extração de conclusões (Curado, 2014; Silva, 2010).

4.3.2. Seleção de ficheiro climático

Para poder iniciar uma simulação numérica em regime dinâmico é necessário incluir um ficheiro climático do local onde se encontra implantado o edifício, podendo desta forma obter resultados próximos da realidade (EnergyPlus, 2015; Silva, 2010).

Neste Caso de Estudo, o formato do ficheiro climático da cidade de Viana do Castelo foi o Typical Meteorological Year 2 (TMY2), sendo este semelhante ao TMY que representa as condições típicas da região num período de tempo de 30 anos (Curado, 2014; EnergyPlus, 2015). O formato é desenvolvido através do método Sandia que consiste numa abordagem empírica onde são selecionados e analisados num período de 30 anos os 12 meses mais representativos do clima local (Curado, 2014). Este ficheiro possui um conjunto de dados com valores horários da radiação solar e dos elementos meteorológicos apresentados num período de um ano (EnergyPlus, 2015).

4.3.3. Construção do Modelo Geométrico

A modelação geométrica de um edifício pressupõe a construção de um modelo geométrico que traduza o comportamento da envolvente, dos equipamentos e dos sistemas que influenciam os processos de armazenamento e transmissão de calor existentes no seu interior (Rodrigues *et al.*, 2009).

A moradia em estudo foi modelada em três dimensões recorrendo ao software Sketchup Make em conjunto com o plug-in Legacy OpenStudio Versão 1.0.11 (compatível com a versão EnergyPlus 8.1), tendo sido possível transferir informações geométricas (coordenadas dos vértices de cada superfície criada) do edifício modelado para serem interpretadas pelo programa EnergyPlus. Ambas as ferramentas estão disponíveis na internet gratuitamente (OpenStudio, 2015; Trimble, 2015).

A construção do modelo geométrico baseou-se no desenvolvimento de cada zona existente no edifício em estudo (Figura 30). Em algumas delas foi necessário simplificar a sua geometria, de forma a reduzir erros internos de leitura pelo programa Energyplus (mais de 4 vértices numa das faces origina erros na leitura das faces associadas).

Cada zona térmica criada é preenchida por um volume de ar delimitada pela envolvente (janelas, portas, pavimentos, paredes e coberturas), ambos responsáveis pela transmissão de calor. É preciso ter um cuidado particular quanto à simplificação geométrica

introduzida, de forma a não causar um desvio relativamente ao caso real. Foram então criadas 12 zonas térmicas (serviço, WC serviço, cozinha, sala, WC rés-do-chão, caixa de escadas, corredor, três quartos no piso 1, WC piso 1 e sótão), em conformidade com a solução arquitetónica (Capítulo 3). As duas zonas que tiveram que ser simplificadas face ao cenário real foram as seguintes:

- Cozinha - foi necessário reduzir a sua área com o objetivo de diminuir os vértices excessivos que existiam na cobertura plana com a qual está em contacto. Para tal, alinou-se a parede que separa a cozinha da denominada zona de serviço, com a do WC rés-do-chão. Para o efeito aumentou-se a área total da zona de serviço, que por sua vez, gerou uma diminuição da área da cozinha.
- Sótão - foi criado como sendo um espaço amplo, tendo sido eliminado todas as paredes interiores que nela existiam, dado possuir demasiados vértices na cobertura o que conduzia a erros na simulação.

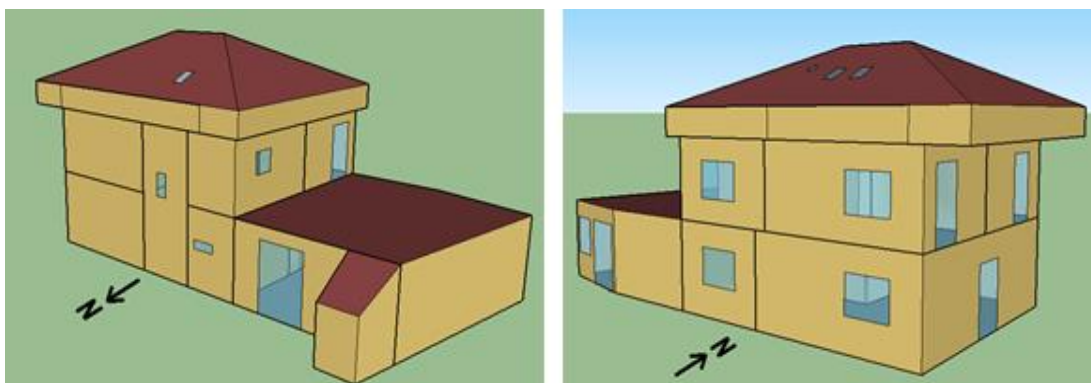


Figura 30 - Modelo geométrico da moradia criado no programa Sketchup Make (2015) juntamente com o plug-in Legacy OpenStudio.

4.3.4. Caracterização dos parâmetros de Simulação

Através do Editor de Simulação (*IDF Editor* do *EnergyPlus*) é possível aceder aos grupos e campos que permitem implementar a simulação numérica do edifício simulado. Neste subcapítulo serão apresentados todos os parâmetros implementados para a realização da simulação do Caso de Estudo, usando para o efeito os tutoriais do programa (*EnergyPlus*, 2015). A implementação dos parâmetros de simulação foi organizada por grupos e respetivos campos, seguindo para o efeito as especificações do programa.

4.3.4.1 Grupo: Parâmetros de Simulação (*Simulation Parameters*)

Este grupo influencia a simulação em vários modos, através dos seguintes campos:

Campo 1: Versão (*Version*)

A versão utilizada nesta simulação foi a 8.1.0.009.

Campo 2: Controlo de Simulação (*SimulationControl*)

Este objeto que permite especificar o tipo de cálculo que será adotado na simulação. Existem as seguintes possibilidades: Zone Sizing Calculation (Default: No), System Sizing Calculation (Default: No), Plant Sizing Calculation (Default: No), Run Simulation for Sizing (Default: Yes) e Run Simulation for Weather File Run Periods (Default: Yes). Pode ser selecionado a partir da opção “Yes” ou “No” e apenas é permitido escolher um dos campos anteriormente referidos, como se verifica na Figura 31. Neste caso optou-se por uma simulação anual associada a um ficheiro climático (Run Simulation for Weather File Run Periods).

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes

Figura 31 - Campo “SimulationControl”.

Campo 3: Edifício (*Building*)

Na Figura 32 o objeto permite definir características associadas ao edifício, tais como:

- Nome pretendido (“Moradia Unifamiliar”);
- Ângulo existente entre o edifício e o Norte verdadeiro (“0°”);
- Rugosidade do terreno em que o edifício está implantado;
- Valores de convergência da carga e da temperatura, 0,04 e 0,4, dados recolhidos através de exemplos existentes no documento Energyplus Getting Started;
- Distribuição solar, (“FullInteriorAndExterior”), esta opção permite definir a forma como a radiação solar é transmitida, ao atravessar as janelas exteriores, em cada superfície associada a essa zona, tendo em conta também o efeito sombreamento associado às superfícies exteriores e aos dispositivos de proteção solar;

Field	Units	Obj1
Name		Morada Unifamiliar
North Axis	deg	0
Terrain		Country
Loads Convergence Tolerance Value		0,04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0,4
Solar Distribution		FullInteriorAndExteri
Maximum Number of Warmup Days		
Minimum Number of Warmup Days		

Figura 32 - Campo “Building”.

Campo 4: Algoritmo de convecção de superfície interior

(SurfaceConvectionAlgorithm:Inside)

Trata-se de um objeto que permite escolher entre quatro modelos (Simple, TARP, CeilingDiffuser, AdaptativeConvectionAlgorithm) da transmissão dos fenómenos de convecção que ocorrem nas superfícies interiores do edifício (Figura 33).

Foi utilizado o modelo por defeito TARP que correlaciona o coeficiente de transferência de calor perante a temperatura e a sua orientação.

Field	Units	Obj1
Algorithm		TARP

Figura 33 - Campo “SurfaceConvectionAlgorithm:Inside”.

Campo 5: Algoritmo de convecção de superfície exterior

(SurfaceConvectionAlgorithm:Outside)

Este objeto é semelhante ao anterior contudo, permite escolher entre cinco modelos (DOE-2, TARP, SimpleCombined, MoWiTT, AdaptativeConvectionAlgorithm) da transmissão dos fenómenos de convecção que ocorre em todas as superfícies exteriores do edifício (Figura 34).

Foi utilizado o modelo por defeito DOE-2 que usa uma correlação a partir de medições em função da rugosidade das superfícies.

Field	Units	Obj1
Algorithm		DOE-2

Figura 34 - Campo “SurfaceConvectionAlgorithm:Outside”.

Campo 6: Algoritmo de equilíbrio de calor (HeatBalanceAlgorithm)

Permite seleccionar o tipo de transferência de calor e humidade que o programa utilizará para calcular o balanço energético do edifício.

Foi escolhido o modelo ConductionTransferFunction (Figura 35), que apenas leva em consideração as trocas de calor sensível no balanço energético, não considerando para o efeito as trocas de calor latente.

Field	Units	Obj1
Algorithm		ConductionTransfer
Surface Temperature Upper Limit	C	
Minimum Surface Convection Heat Transfer Coefficient	W/m2-K	
Maximum Surface Convection Heat Transfer Coefficient	W/m2-K	

Figura 35 - Campo "HeatBalanceAlgorithm".

Campo 7: Intervalo de Tempo (*Timestep*)

Este objeto permite definir o intervalo de tempo em que são apresentados os resultados. Neste caso definiu-se um timestep de 6, isto é, os resultados são apresentados de 10 em 10 minutos (Figura 36).

Field	Units	Obj1
Number of Timesteps per Hour		6

Figura 36 - Campo "Timestep".

4.3.4.2 Grupo: Clima e Localização (*Location and Climate*)

Trata-se de um grupo onde se descreve as condições ambientais existentes nas condições de simulação. Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Período de Execução (*Run Period*)

Neste objeto há a possibilidade de definir as características associadas à apresentação dos resultados, através da consideração do mês inicial e final pretendido para a simulação, bem como os dias associados à mesma (Figura 37). Os parâmetros foram implementados por defeito usando as especificações do programa.

Field	Units	Obj1
Name		Annual
Begin Month		1
Begin Day of Month		1
End Month		12
End Day of Month		31
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		Yes
Start Year		

Figura 37 - Campo "Run Period".

Campo 2: Local: Temperatura do Solo: Superfície do Edifício

(Site:GroundTemperature:BuildingSurface)

Através deste campo é possível indicar a temperatura superficial do solo. Este campo é aplicado a todos os elementos construtivos que estejam em contacto com o mesmo (Figura 38). Por defeito o programa assume um valor de 18 °C para a temperatura do solo para todos os meses do ano.

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	18
February Ground Temperature	C	18
March Ground Temperature	C	18
April Ground Temperature	C	18
May Ground Temperature	C	18
June Ground Temperature	C	18
July Ground Temperature	C	18
August Ground Temperature	C	18
September Ground Temperature	C	18
October Ground Temperature	C	18
November Ground Temperature	C	18
December Ground Temperature	C	18

Figura 38 - Campo "Site:GroundTemperature:BuildingSurface".

4.3.4.3 Grupo: Agendamentos (Schedules)

Este grupo permite ao utilizador determinar os agendamentos das diversas variáveis que determinam os ganhos internos (ocupação, iluminação, etc.). Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Limites do tipo de Agendamento (ScheduleTypeLimits)

O utilizador tem a possibilidade de, através deste objeto, especificar o tipo de dados e os limites de variação das diversas que traduzem os agendamentos existentes no campo "Schedule:Compact". Como por exemplo, ativar ou desativar diversos sistemas implementados no edifício, ou ainda, especificar horários de funcionamento de iluminação ou sistemas de climatização (Figura 39).

Para o caso de estudo foram criados 5 objetos:

- **Anynumber** foi criado com o objetivo de colocar um valor discreto num agendamento com o tipo de unidade dimensional, não sendo necessário valores limites. Foi utilizado nos agendamentos de ocupação (quantas pessoas num determinado tempo e espaço) e de atividade (energia gasta por atividades realizadas).

- **Fraction** tem como objetivo definir um intervalo limitado de variação para um determinado agendamento. Foi definido entre 0 e 1, com um tipo numérico contínuo (engloba todos os números a serem válidos dentro do intervalo denominado). No caso de estudo, a fração é utilizada para determinar a quantidade de iluminação em funcionamento numa determinada zona da moradia.
- **Temperatura** foi estabelecida para poder estipular limites de temperatura em alguns agendamentos. Neste caso foi delimitado entre 0 e 50, com um valor numérico contínuo.
- **On/Off** foi criado para determinar quando o equipamento elétrico está ligado ou desligado, limitado a 0 (desligado) ou 1 (ligado).
- **Open/Close** foi criado para indicar quando uma porta está aberta ou fechada, limitado a 0 (fechada) ou 1 (aberta).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Anynumber	Fraction	Temperatura	On/Off	Open/Close
Lower Limit Value	varies		0	0	0	0
Upper Limit Value	varies		1	50	1	1
Numeric Type			Continuous	Continuous	Discrete	Discrete
Unit Type		Dimensionless		Temperature		

Figura 39 - Campo "ScheduleTypeLimits".

Campo 2: Agendamento: Compacto (*Schedule:Compact*)

Neste campo (Figura 40) são criados todos os agendamentos necessários para os diversos parâmetros existentes na simulação. Neste caso foram definidos os nomes dos agendamentos, os valores limites associados e os horários de funcionamento com as respetivas datas de início e de encerramento. Foram criados agendamentos anuais relativamente ao tempo de funcionamento da iluminação e dos equipamentos existentes em cada compartimento, e ainda, o tempo de ocupação dos ocupantes em cada zona térmica da moradia e o tipo de atividade praticado em cada uma.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		SchIluminação_Ser	SchOcupação_Ser	SchIluminação_Sot
Schedule Type Limits Name		Fraction	Anynumber	Fraction
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 09:00	Until: 09:00	Until: 21:00
Field 4	varies	0.0	0	0.0
Field 5	varies	Until: 12:00	Until: 12:00	Until: 22:00
Field 6	varies	0.5	2	0.25
Field 7	varies	Until: 17:00	Until: 14:00	Until: 24:00
Field 8	varies	0.0	0	0.5
Field 9	varies	Until: 20:00	Until: 20:00	
Field 10	varies	0.7	2	
Field 11	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	
Field 12	varies	0.0	0	
Field 13	varies			

Figura 40 - Campo "Schedule:Compact" (os três primeiro objetos).

4.3.4.4 Grupo: Superfície de elementos de construção (*Surface Construction Elements*)

Neste grupo descreve-se as características dos materiais e dos elementos de construção (paredes, coberturas, pavimentos, janelas e portas). Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Materiais (*Material*)

Trata-se de um parâmetro do programa que possibilita a inserção de um conjunto de propriedades dos materiais opacos relevantes para o processo de simulação numérica: espessura, densidade, condutividade, rugosidade e o calor específico.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Telha_LusaTradicio	Laje_B.Betao_16cm	Laje_B.Betao_29cm
Roughness		MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth
Thickness	m	0,01	0,16	0,29
Conductivity	W/m-K	0,34	1,14	1,32
Density	kg/m3	460	1386	1174,31
Specific Heat	J/kg-K	920	1000	1000
Thermal Absorptance		0,9	0,9	0,9
Solar Absorptance		0,6	0,6	0,6
Visible Absorptance		0	0	0

Figura 41 - Campo “Material” (os três primeiro objetos).

Conforme indicado na Figura 41, os valores de absorptância que foram considerados para os materiais existentes no caso de estudo em relação à radiação térmica ($\alpha_{\text{térmico}}$) e à radiação solar (α_{solar}) são 90% e 60%, respetivamente, segundo dados retirados de Curado (2014).

A Tabela 6 apresenta os valores das principais propriedades consideradas na caracterização dos materiais que constituam as várias soluções construtivas. A espessura (e) considerada para cada material teve em conta os dados constantes no projeto da moradia e o levantamento no local. Os valores de calor específico (C_p) de cada material foram obtidos na biblioteca do programa CYPEMEP associada ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) (CYPE, 2015). Os dados referentes à condutibilidade térmica (λ) e à densidade (ρ) foram obtidos no documento “Informação Técnica Edifícios 50” (ITE 50).

Tabela 6 - Caracterização de materiais existentes na moradia em de estudo.

Descrição	e (m)	λ (W/(m.°C))	ρ (kg/m³)	Cp (J/(kg.°C))
Telha Lusa Tradicional	0,01	0,34	460	1000
Bloco de Betão 16 cm (Laje)	0,16	1,14	1386	1000
Bloco de Betão 29 cm (Laje)	0,29	1,32	1174,31	1000
Betão Normal 20 cm (Laje)	0,20	2,00*	2450*	1000
Tijolo 11 Tradicional	0,11	0,38	670	1000
Tijolo 15 Tradicional	0,15	0,36	650	1000
Tijolo 7 Tradicional	0,07	0,28	818	1000
Cerâmica	0,006	1,04	2300	1000
Pedra, areia e cascalho (parede)	0,27	2,20*	2400*	1000
Madeira (Pavimento interior)	0,01	0,15*	500*	1000
Reboco Ligante	0,02	1,30*	1900*	1000
Estuque	0,02	0,40*	1000*	1000
Betonilha	0,04	1,30*	1900*	1000
XPS	0,03	0,037*	32,50*	1000
Madeira (Portas interior)	0,035	0,15*	500*	1000

*Valor extraído do ITE 50 (Santos & Matias, 2006).

Na Tabela 6 há um conjunto de materiais de construção aplicados nas obras da moradia cujas propriedades foram obtidas da seguinte forma:

- **Telha Lusa Tradicional**

Para a obtenção das propriedades deste material foi necessário recorrer a uma avaliação das características da telha de forma a obter os dados necessários para efeito de modelação. Uma telha similar à existente na moradia foi pesada e estimado o seu volume de modo a obter a sua massa volúmica. O valor obtido foi 460 kg/m³.

Por consulta do documento ITE 50 foi possível determinar a Condutibilidade Térmica (λ) deste material. Uma vez que a sua densidade é menor que 1000 kg/m³ o λ associado é de 0,34 W/(m.°C).

- **Revestimento Cerâmico**

Este material teve a mesma metodologia de medição que o material anteriormente apresentado. O valor obtido relativamente a sua massa volúmica foi de 2698,65 kg/m³. Através do ITE 50, considerou-se λ igual a 1,04 W/(m.°C).

- **Laje com Blocos de Betão de 16 cm e 29 cm**

O peso próprio deste material permitiu determinar a sua densidade. Para tal, acedeu-se ao documento de homologação da Pavineiva de pavimentos aligeirados de vigotas prefabricadas de betão pré-esforçado produzido pelo LNEC (Pavineiva, 2006). O peso próprio do bloco de betão com espessura de 16 cm é de 2,18 kN/m² (Anexo III.1 do documento da Pavineiva (2006)), e a massa volúmica calculada apresentou um valor de 1386 kg/m³. Através do ITE 50 considerou-se o valor da λ igual a 1,14 W/(m.°C).

A mesma metodologia foi aplicada a laje com blocos de betão de 29 cm. Adquirindo neste caso uma densidade de 1174 kg/m³ e uma λ de 1,32 W/(m.°C).

- **Tijolo Tradicional 7, 11 e 15**

Através do site Preceram foi possível determinar a densidade de cada tipo de tijolo e a sua resistência térmica associada (PRECERAM, 2014). Consequentemente, obteve-se para os tijolos 7, 11 e 15 uma λ de 0,28 W/(m.°C), 0,38 W/(m.°C) e 0,36 W/(m.°C), respetivamente.

Campo 2: Material: Caixa de Ar (*Material:AirGap*)

Este campo (Figura 42) permite definir a resistência térmica do ar existente no espaço de um elemento opaco. Neste caso foi criado um objeto denominado por “caixa-de-ar” e com uma resistência térmica de 0.18 (m².°C)/W (dado disponível no ITE50).

Field	Units	Obj
Name		Caixa de Ar
Thermal Resistance	m ² ·K/W	0,18

Figura 42 - Campo “Material:AirGap”.

Campo 3: Material de Janelas: Sistemas de Vidro Simples (*WindowMaterial:SimpleGlazingSystem*)

Neste campo foram introduzidos os vãos envidraçados que possuíam pouca informação técnica. Como se pode ver na Figura 43 este campo disponibiliza informação limitada,

apenas possibilita a introdução de dois campos obrigatórios, o coeficiente de transmissão térmica e fator solar do vidro.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Vidro Simples (Caixil	Claraboia_Vidro Dup	Tijolo de Vidro
U-Factor	W/m ² -K	5,1	3,2	2,8
Solar Heat Gain Coefficient		0,95	0,75	0,57
Visible Transmittance				

Figura 43 - Campo “WindowMaterial:SimpleGlazingSystem”.

A Tabela 7 referencia os dados utilizados para estas três soluções de envidraçados existentes na moradia.

Tabela 7 – Referência dos dados utilizados para soluções dos envidraçados existentes na moradia.

	Dados	Referência dos dados
Vidro Simples Caixilharia de Madeira	$U^a) = 5,1 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	ITE 50, quadro III.1
	$g_{\perp, vi}^b) = 0,85$	REH, Despacho nº15793K/2013, tabela 12 (vidro simples incolor de 6mm)
	Transmissão Visível, não existe esta informação deste envidraçado.	
Claraboia Caixilharia de Plástico	$U = 3,2 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	ITE 50, quadro III.3
	$g_{\perp, vi} = 0,75$	REH, Despacho nº15793K/2013, tabela 12 (vidro duplo incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm)
	Transmissão Visível, não existe esta informação deste envidraçado	
Tijolo de vidro	$U = 2,8 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	Seves Glassblock – 1919/16 HTI Wave
	$g_{\perp, vi} = 0,57$	REH, Despacho nº15793K/2013, tabela 12 (Tijolo de Vidro)
	Transmissão Visível, não existe esta informação deste envidraçado	

^{a)} U= coeficiente de transmissão térmica.

^{b)} $g_{\perp, vi}$ = fator solar do vidro.

Campo 4: Material de Janela: Vidros (*WindowMaterial:Glazing*)

Este campo possibilita a adição da propriedade de cada lâmina de vidro existente num envidraçado. Na Figura 44 são apresentados todos os campos existentes neste objeto, tendo sido criado uma lâmina de vidro de 4mm. Os dados introduzidos pertencem à ficha técnica Guardian Configurator dos vidros duplos existentes na moradia (Anexo VII).

Field	Units	Obj1
Name		Clear 4mm
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0,004
Solar Transmittance at Normal Incidence		0,709
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,0131
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0,0131
Visible Transmittance at Normal Incidence		0,55
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,0147
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0,0147
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		
Conductivity	W/m-K	
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittanc		
Solar Diffusing		No
Young's modulus	Pa	
Poisson's ratio		

Figura 44 - Campo "WindowMaterial:Glazing".

Campo 5: Material de Janela: Gás (*WindowMaterial:Gas*)

Este objeto especifica as propriedades do gás existente entre o espaçamento das lâminas de vidros do envidraçado. Neste caso foram criados dois tipos de espaçamento com ar, um de 9 mm e outro de 12 mm, como se pode ver na Figura 45.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Air 12mm	Air 11cm
Gas Type		Air	Air
Thickness	m	0,012	0,11
Conductivity Coefficient A	W/m-K		
Conductivity Coefficient B	W/m-K2		
Conductivity Coefficient C	W/m-K3		
Viscosity Coefficient A	kg/m-s		
Viscosity Coefficient B	kg/m-s-K		
Viscosity Coefficient C	kg/m-s-K2		
Specific Heat Coefficient A	J/kg-K		
Specific Heat Coefficient B	J/kg-K2		
Specific Heat Coefficient C	J/kg-K3		
Molecular Weight	g/mol		
Specific Heat Ratio			

Figura 45 - Campo " WindowMaterial:Gas".

Campo 6: Construção (*Construction*)

No presente campo são implementadas as diversas soluções construtivas aplicáveis (pavimento, coberturas, paredes, janelas e portas) através da sobreposição dos materiais anteriormente especificados (Figura 46). Ao criar a solução é necessário iniciar pela camada exterior e adicionar as restantes camadas que constituem a solução construtiva.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Cobertura	Pavimento Exterior	Pavimento Interior
Outside Layer		Telha_LusaTradicio	Ceramica_Paviment	Madeira
Layer 2		XPS	Betonilha	Reboco Ligante
Layer 3		Laje_B.Betao_16cm	XPS	Laje_B.Betao_29cm
Layer 4		Reboco Ligante	Laje_BetaoNormal_	Estuque
Layer 5			Estuque	
Layer 6				
Layer 7				

Figura 46 - Campo "Construction".

4.3.4.5 Grupo: Zonas Térmicas e Superfícies (*Thermal Zones and Surfaces*)

Neste grupo é possível caracterizar as zonas térmicas e detalhar cada superfície modelada. Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Regras de Geometria Globais (*GlobalGeometryRules*)

Este objeto permite definir as regras geométricas de todas as superfícies do edifício, como se pode constatar na Figura 47. Neste caso optou-se por começar no vértice do canto superior esquerdo, com direção anti-horária, considerando o sistema de coordenada "Relative" sendo estas introduzidas pelo utilizador (normalmente através de um programa de modelação 3D), como se pode ver na Figura 48.

Field	Units	Obj1
Starting Vertex Position		UpperLeftCorner
Vertex Entry Direction		Counterclockwise
Coordinate System		Relative
Daylighting Reference Point Coordinate System		
Rectangular Surface Coordinate System		

Figura 47 - Campo "GlobalGeometryRules".

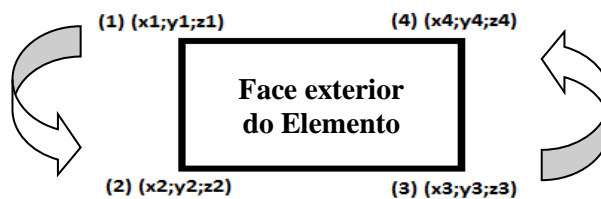


Figura 48 - Esquematização das regras geométricas aplicadas às superfícies da moradia em estudo.

Campo 2: Zona (*Zone*)

No presente campo visualizam-se todos os espaços definidos como zonas térmicas e especificam-se as suas coordenadas de origem. Neste caso a moradia unifamiliar em estudo foi dividida em doze zonas térmicas (Figura 49).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12
Name		Service	WC_Servico	Cozinha_Piso1	WC_Piso1	Sala_Piso1	QuartoD_Piso2	QuartoF_Piso2	WC_Piso2	QuartoP_Piso2	Sotao_P3	Caixa de escadas	Corredor
Direction of Relative North	deg	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
X Origin	m	0	1,220035	6,820035	6,820035	9,470035	6,820035	10,320035	6,820035	10,930035	6,820035	10,930035	11,590035
Y Origin	m	0	7,3	0	4,17	0	0	0	4,17	4,17	0	4,17	3,4
Z Origin	m	0	0	0	0	0	2,75	2,75	2,75	2,75	5,2	0	2,75
Type													
Multiplier		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ceiling Height	m	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Volume	m3	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Floor Area	m2	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Zone Inside Convection Algorithm													
Zone Outside Convection Algorithm													
Part of Total Floor Area		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Figura 49 - Campo “Zone”.

Campo 3: Superfície do Edifício: Detalhado (*BuildingSurface:Detailed*)

Permite caracterizar detalhadamente às diversas superfícies existentes no edifício, respetivos vértices e coordenadas. Neste Campo é possível designar o tipo de superfície especificada, a zona térmica em que se encontra, o comportamento da respetiva superfície à transferência de calor (Surface, Adiabatic, Zone, Outdoors ou Ground) face à sua envolvente e a sua exposição ao sol e ao vento. O caso de estudo comporta um total de 98 componentes. Na Figura 50 são apresentados os 3 primeiros objetos relativos a este Campo.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		S_GF	S_Roof	S_EW_Oeste
Surface Type		Floor	Roof	Wall
Construction Name		Pavimento_Ground	Pavimento Exterior	Paredes Exteriores_
Zone Name		Servico	Servico	Servico
Outside Boundary Condition		Ground	Outdoors	Outdoors
Outside Boundary Condition Object				
Sun Exposure		NoSun	SunExposed	SunExposed
Wind Exposure		NoWind	WindExposed	WindExposed
View Factor to Ground		autocalculate	autocalculate	autocalculate
Number of Vertices		5	5	4
Vertex 1 X-coordinate	m	6,820035402953	1,220035402953	1,220035402953
Vertex 1 Y-coordinate	m	7,3	7,3	7,3
Vertex 1 Z-coordinate	m	0	2,75	2,75
Vertex 2 X-coordinate	m	6,820035402953	0	1,220035402953
Vertex 2 Y-coordinate	m	0	0,72	7,3
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	2,75	0
Vertex 3 X-coordinate	m	3,320035402953	3,320035402953	0
Vertex 3 Y-coordinate	m	0	0	0,72
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	2,75	0
Vertex 4 X-coordinate	m	0	6,820035402953	0

Figura 50 - Campo “BuildingSurface:Detailed” (os primeiros três objetos).

Campo 4: Superfície dos Envidraçados: Detalhado (*FenestrationSurface:Detailed*)

O campo em análise é semelhante ao anterior, contudo difere deste no facto de serem definidas um conjunto de sub-superfícies (janelas, clarabóias, portas e portas envidraçadas). Apresenta os seguintes campos adicionais: tipo de superfície e de construção associada, superfície opaca em que se insere no edifício, controlo de

sombreamento, e por último os seus vértices e coordenadas (Figura 51). O Caso de Estudo em análise tem um total de 38 objetos.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		S_GD_Norte	S_W_Sul	S_GD_Sul
Surface Type		GlassDoor	Window	GlassDoor
Construction Name		Vidro Duplo	Vidro Duplo	Vidro Duplo
Building Surface Name		S_EW_Norte	S_EW_Sul	S_EW_Sul
Outside Boundary Condition Object				
View Factor to Ground				
Shading Control Name				
Frame and Divider Name				
Multiplier				
Number of Vertices		4	4	4
Vertex 1 X-coordinate	m	5,820035402953	0,19545659554	1,551153213312
Vertex 1 Y-coordinate	m	7,3	0,677612274657	0,383608914353
Vertex 1 Z-coordinate	m	2,32	2,18	2,22
Vertex 2 X-coordinate	m	5,820035402953	0,19545659554	1,551153213312
Vertex 2 Y-coordinate	m	7,3	0,677612274657	0,383608914353
Vertex 2 Z-coordinate	m	0	0,9	0
Vertex 3 X-coordinate	m	4,220035402953	1,221603722128	3,124578807412
Vertex 3 Y-coordinate	m	7,3	0,455076716607	0,042387725343
Vertex 3 Z-coordinate	m	0	0,9	0
Vertex 4 X-coordinate	m	4,220035402953	1,221603722128	3,124578807412

Figura 51 - Campo “FenestrationSurface:Detailed” (os primeiros três objetos).

4.3.4.6 Grupo: Ganhos Internos (*Internal Gains*)

Os ganhos internos resultam da atividade dos ocupantes, da iluminação e dos diversos tipos equipamentos que produzem calor. Não são considerados ganhos internos quaisquer quantidades de calor destinadas a climatizar o ambiente interno (Rodrigues *et al.*, 2009). Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Ganhos de Ocupação (*People*)

As pessoas são as principais fontes de ganhos internos de calor (Rodrigues *et al.*, 2009). Este campo permite especificar a frequência de ocupação e o número de indivíduos em cada zona térmica, bem como a fração radiante emitida, a quantidade de CO₂ libertada e ainda o tipo de atividade metabólica de cada indivíduo.

Neste caso de estudo foram criados 7 objetos correspondentes à cozinha, sótão, zona de serviço, sala e aos três quartos existentes no piso 1 (Figura 52). Para todos estes objetos foi considerado o método de cálculo pelo número total de pessoas que ocupam a zona térmica. Consideraram-se 3 tipos de atividades dentro da moradia tendo em conta a taxa metabólica, através do documento “Input Output Reference”, foram estimados 72 W/Pessoa para a atividade dormir (categoria descanso), 108 W/Pessoa estando sentado/ quieto (categoria descanso) e 144 W/Pessoa pelo arquivamento/de pé (Atividade de escritório) (EnergyPlus,

2013). Estes dados foram implementados em agendamentos, sendo que cada indivíduo emite calor por radiação, considerando uma fração radiante de 50% (Souza, 2009) e $3.82E-8 \text{ m}^3/(\text{s.W})$ de CO_2 produzido por cada um (valor apresentado por defeito no documento “Input Output Reference”) (EnergyPlus, 2013).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Ocupação_Cozinha	Ocupação_Solao	Ocupação_Servico	Ocupação_QuartoD	Ocupação_QuartoF	Ocupação_QuartoP	Ocupação_Sala
Zone or ZoneList Name		Cozinha_Piso1	Solao_P3	Servico	QuartoD_Piso2	QuartoF_Piso2	QuartoP_Piso2	Sala_Piso1
Number of People Schedule Name		SchOcupação_Cozinha	SchOcupação_Solao	SchOcupação_Servico	SchOcupação_Quartos	SchOcupação_Quartos	SchOcupação_Quartos	SchOcupação_Sala
Number of People Calculation Method		People	People	People	People	People	People	People
Number of People		5	2	2	1	1	2	5
People per Zone Floor Area	person/m2							
Zone Floor Area per Person	m2/person							
Fraction Radiant		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		SchAtividade_Tipico	SchAtividade_Tipico	SchAtividade_Servico	SchAtividade_Tipico	SchAtividade_Tipico	SchAtividade_Tipico	SchAtividade_Tipico
Carbon Dioxide Generation Rate	m3/s-W	0.00000382	0.00000382	0.00000382	0.00000382	0.00000382	0.00000382	0.00000382
Enable ASHRAE 55 Comfort Warnings								
Mean Radiant Temperature Calculation Type								
Surface Name/Angle Factor List Name								
Work Efficiency Schedule Name								
Clothing Insulation Calculation Method								
Clothing Insulation Calculation Method Schedule Name								
Clothing Insulation Schedule Name								
Air Velocity Schedule Name								
Thermal Comfort Model 1 Type								
Thermal Comfort Model 2 Type								
Thermal Comfort Model 3 Type								
Thermal Comfort Model 4 Type								
Thermal Comfort Model 5 Type								

Figura 52 - Campo "People".

Campo 2: Ganhos de Iluminação (Lights)

Neste campo é determinada a iluminação existente em cada zona e os seus ganhos internos associados. A Figura 54 apresenta os 10 objetos associados ao caso de estudo.

O método de cálculo adotado para todos os objetos criados foi, pelo nível de luz existente em cada zona térmica, a unidade Watts. A partir de um levantamento de dados realizado na moradia, obtiveram-se os dados necessários para implementar agendamentos e watts associados a cada zona térmica. Também foram obtidos os valores associados à fração de ar de retorno, fração radiante, visível e substituível como se pode ver na Figura 53, com base na configuração luminosa que predominava em cada compartimento. “Surface Mount” foi considerada a configuração para todas as zonas térmicas da moradia (Energyplus, 2013).

Field Name	Luminaire Configuration, Fluorescent Lighting				
	Suspended	Surface mount	Recessed	Luminous and louvered ceiling	Return-air ducted
Return Fraction	0.0	0.0	0.0	0.0	0.54
Fraction Radiant	0.42	0.72	0.37	0.37	0.18
Fraction Visible	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
<i>fconvected</i>	0.40	0.10	0.45	0.45	0.10

Figura 53 - Representação dos valores de fração do ar de retorno, radiante e visível.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8	Obj9	Obj10
Name		Iluminação_Sala	Iluminação_Sotao	Iluminação_Servico	Iluminação_Cozinha	Iluminação_WCP1	Iluminação_OF	Iluminação_QD	Iluminação_QP	Iluminação_Corredo	Iluminação_Caixa d
Zone or ZoneList Name		Sala_Piso1	Sotao_P3	Servico	Cozinha_Piso1	Cozinha_Piso1	QuartoF_Piso2	QuartoD_Piso2	QuartoP_Piso2	Corredor	Caixa de escadas
Schedule Name		SchIluminação_P1	SchIluminação_Sot	SchIluminação_Ser	SchIluminação_Coz	SchIluminação_WC	SchIluminação_Que	SchIluminação_Que	SchIluminação_Que	SchIluminação_Con	SchIluminação_Con
Design Level Calculation Method		LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel	LightingLevel
Lighting Level		28	24	115	18	13	10	10	10	3	6
Watts per Zone Floor Area	W/m2										
Watts per Person	W/person										
Return Air Fraction		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
Fraction Visible		0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
Fraction Replaceable		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
End-Use Subcategory											
Return Air Fraction Calculated from Plenum Temperature											
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coi											
Return Air Fraction Function of Plenum Temperature Coi 1/K											

Figura 54 - Campo “Lights”.

Campo 3: Ganhos de Equipamentos (*ElectricEquipment*)

Este campo possibilita a adição dos equipamentos elétricos existentes em cada zona do edifício, bem como o calor de dissipação associado.

Para este caso foram criados 6 objetos (Figura 55) em que cada um foi associado à sua respectiva zona térmica e agendamento do funcionamento. O método de cálculo escolhido foi determinado pela potência apresentada de cada equipamento. Os valores associados à Fração latente, radiante e perdida, como se pode ver na Figura 55, foram considerados tendo em conta o documento “Input Output Reference” (EnergyPlus, 2013).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		TV_Sotao	Portatil_Sotao	TV_Sala_P1	TV_QuartoP_P2	TV2_QuartoD_P2	Computador_Sala
Zone or ZoneList Name		Sotao_P3	Sotao_P3	Sala_Piso1	QuartoP_Piso2	QuartoD_Piso2	Sala_Piso1
Schedule Name		Sch_TV_Sotao	Sch_Portatil_Sotao	Sch_TV_CasaP1	Sch_TV_CasaP2	Sch_TV_CasaP2	Sch_CPU_Casa
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	75	90	100	200	35	500
Watts per Zone Floor Area	W/m2						
Watts per Person	W/person						
Fraction Latent		0	0	0	0	0	0
Fraction Radiant		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Fraction Lost		0	0	0	0	0	0
End-Use Subcategory		General	General	General	General	General	General

Figura 55 - Campo “ElectricEquipment”.

4.3.4.7 Grupo: Ventilação Natural, Condutas e Grelhas (*Natural Ventilation and Duct Leakage*)

A existência de ventilação permite a renovação do ar saturado de um edifício, sendo fundamental para a qualidade do seu ar interior (Rodrigues *et al.*, 2009). Este grupo permite construir dois tipos de sistemas de ventilação, natural e forçada. Na ventilação forçada a renovação de ar é feita através de equipamentos e na natural é baseada em métodos naturais que movimentam o ar para o interior e exterior do edifício (Pereira *et al.*, 2013).

Curado (2014) afirma: “Sempre que não existam dispositivos de ventilação mecânica, a renovação de ar de um edifício resulta da diferença de pressão introduzida pelo efeito

conjugado da ação do vento e da diferença de temperatura.”. Na moradia em estudo não existe nenhum dispositivo de ventilação mecânica, logo, foi desenvolvido um sistema de ventilação natural. O autor também reforça que “a ação dos ocupantes na regulação da renovação de ar dos locais, com a abertura e o fecho de janelas, bem como a introdução de mecanismos de admissão de ar, como as grelhas e as aberturas reguláveis, permite um reforço da taxa de renovação de ar e a consequente manutenção da qualidade do ar interior dentro de limites aceitáveis.”. Desta forma houve um maior cuidado ao criar o sistema de ventilação natural nesta simulação.

Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Modelo de Ventilação (*AirflowNetwork:SimulationControl*)

Este campo permite definir os parâmetros básicos para executar os cálculos associados ao fluxo de ar e coeficientes de pressão dos ventos (Figura 56).

Neste caso, estando perante um sistema de ventilação natural optou-se pelo tipo de controlo *Multizone Without Distribution*, que permite a interligação dos fluxos de ar existente entre as diversas zonas (Machado, 2012).

O campo seguinte, *Wind Pressure Coefficient Type*, assenta na determinação dos coeficientes de pressão do vento, existindo duas possibilidades: os dados poderem ser introduzidos pelo utilizador (*Input*) ou calculados pelo simulador (*Surface Average Calculation*). Visto não ser possível a utilização da opção *Surface Average Calculation*, método automático de cálculo dos coeficientes de vento, uma vez que este apenas é válido para casos de edifícios retangulares e não para edifícios complexos optou-se por introduzir os dados (*Input*). Desta forma foi possível introduzir os coeficientes de vento de uma forma manual nos objetos, *AirflowNetwork: MultiZone: Wind Pressure Coefficient Values* e *AirflowNetwork: MultiZone: Wind Pressure Coefficient Array* (sendo o nome deste último objeto introduzido no campo seguinte).

O campo *Height Selection for Local Wind Pressure Calculation* determina se a pressão do vento local é calculada com base na altura de qualquer nó externo (*ExternalNode*) ou altura das aberturas, grelhas e janelas (*OpeningHeight*, por defeito).

O campo *Maximum Number of Iterations* está relacionado com o número máximo de interações permitidas para encontrar uma solução. Foi optado neste caso por 500 iterações, sendo considerado o valor padrão.

O tipo de iniciação do cálculo da ventilação pode ser escolhido *por Linear Initialization Method* ou *Zero Pressure* (Defeito). Neste caso optou-se pelo *Linear Initialization Method* apresenta resultados mais reais.

Os restantes campos *Relative Airflow Convergence Tolerance*, *Absolute Airflow Convergence Tolerance* e *Convergence Acceleration* foram implementados segundo os valores por defeito indicados no documento “Input Output Reference” (EnergyPlus, 2013).

Field	Units	Obj1
Name		Ventilação
AirflowNetwork Control		MultizoneWithoutDi
Wind Pressure Coefficient Type		Input
AirflowNetwork Wind Pressure Coefficient Array Name		Cada 90 graus
Height Selection for Local Wind Pressure Calculation		OpeningHeight
Building Type		
Maximum Number of Iterations	dimensionless	500
Initialization Type		LinearInitializationM
Relative Airflow Convergence Tolerance	dimensionless	0,0001
Absolute Airflow Convergence Tolerance	kg/s	0,000001
Convergence Acceleration Limit	dimensionless	-0,5
Azimuth Angle of Long Axis of Building	deg	
Ratio of Building Width Along Short Axis to Width Along Long Axis		

Figura 56 - Campo "AirflowNetwork:SimulationControl".

Campo 2: Sistema de Ventilação por Zona (*AirflowNetwork:MultiZone:Zone*)

Este campo permite controlar a ventilação através de aberturas internas e externas existentes em cada zona térmica (Figura 57). Neste caso o modo de controlo da ventilação não é efetuado na zona térmica, mas sim, através de cada superfície que possibilita a sua abertura ou fecho. No campo *AirflowNetwork:MultiZone:Surface* foi implementado o tipo de controlo de todas as aberturas existente na moradia.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Zone Name		Service	WC_Service	Cozinha_Piso1
Ventilation Control Mode				
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule Name				
Minimum Venting Open Factor	dimensionless			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaC			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor	deltaC			
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaJ/kg			
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for Minimum Venting Open Factor	deltaJ/kg			
Venting Availability Schedule Name				

Figura 57 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Zone".

Campo 3: Sistema de Ventilação por superfície (*AirflowNetwork:MultiZone:Surface*)

Este campo está relacionado com o anterior, permitindo o controlo mais específico da transferência de calor que ocorre em cada superfície e sub-superfície existente numa zona térmica do edifício (Figura 58).

Neste caso foram criados 42 objetos que englobam portas (interiores e exteriores), janelas e grelhas existentes no edifício. Foi necessário especificar o tipo de superfície de cada objeto através do *Leakage Component Name*. No campo *Window/Door Opening Factor* ou *Crack Factor* é possível especificar se a superfície está totalmente aberta (igual a 1), parcialmente aberta, correspondendo a metade (igual a 0,5) ou totalmente fechado (igual a 0). Foi implementado o tipo de controlo de ventilação constante, onde foi essencial criar um agendamento no campo *Venting Availability Schedule Name*, que permite definir se a sub-superfície está aberta ou fechada.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Surface Name		CE_Door_Sul_Corre	Corredor_Door_Norte	P1S_Door_Norte_C
Leakage Component Name		Porta Interior	Porta Interior	Porta Interior
External Node Name				
Window/Door Opening Factor, or Crack Factor	dimensionless	1	1	1
Ventilation Control Mode		Constant	Constant	Constant
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint Schedule				
Minimum Venting Open Factor	dimensionless			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit	deltaC			
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit	deltaC			
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit for	deltaJ/kg			
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit for	deltaJ/kg			
Venting Availability Schedule Name		Sch_PortaInterior_C	Sch_PortaInterior_C	Sch_PortaInterior_C

Figura 58 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Surface".

Campo 4: Sistema de Ventilação: Condições referentes às fissuras do edifício (*AirflowNetwork:MultiZone:ReferenceCrackConditions*)

Este campo permite especificar as condições a que as fissuras do edifício estão sujeitas relativamente à temperatura, pressão e humidade. Como se pode ver na Figura 59 foram introduzidos para todos os campos, valores considerados por defeito do programa.

Field	Units	Obj1
Name		NoVentMec
Reference Temperature	C	20
Reference Barometric Pressure	Pa	101325
Reference Humidity Ratio	kgWater/kgDryAir	0

Figura 59 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:ReferenceCrackConditions".

Campo 5: Sistema de Ventilação: Superfícies: Áreas de ventilação por exaustão
(AirflowNetwork:MultiZone:Surface:EffectiveLeakageArea)

A partir deste campo são caracterizadas as superfícies de ventilação por exaustão existentes no edifício. Foram criados 4 objetos correspondentes às grelhas existentes em todos os WC da moradia (Figura 60). A área apresentada por cada grelha é de 95 cm², o coeficiente de descarga, o valor de referência do diferencial de pressão e o expoente de escoamento foram considerados perante o documento “Input Output Reference” (EnergyPlus, 2013).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Grelha_WCS2	Grelha_WCP1	Grelha_WCP2	Grelha_P3
Effective Leakage Area	m2	0,0095	0,0095	0,0095	0,0095
Discharge Coefficient	dimensionless	1	1	1	1
Reference Pressure Difference	Pa	20	20	20	20
Air Mass Flow Exponent	dimensionless	0,65	0,65	0,65	0,65

Figura 60 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Surface:EffectiveLeakageArea".

Campo 6: Sistema de Ventilação: Componente de Abertura Detalhada
(AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening)

Este campo especifica as propriedades associadas ao fluxo de ar que atravessa portas e janelas, estando estas abertas ou fechadas (Figura 61).

Foram criados 7 objetos com dois tipos de abertura cada: totalmente aberto (completa entrada do fluxo de ar) e totalmente fechada (entrada do fluxo de ar é praticamente zero). Os *Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed* de cada objeto foram consultados através de tabelas disponíveis no documento “Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0 (2013)” (LabEEE, 2013). O *Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed* foi implementado para todos os objetos com um valor, por defeito, de 0,65. O campo *Type of Rectangular Large Vertical Opening* permite a abertura de uma porta ou janela é feita de forma regular (*NonPivoted*), ou se a janela possui eixo horizontal (*HorizontallyPivoted*).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Window	GlassDoor	Porta Exterior	Porta Interior	Claraboia	Window_WCP2	Window_WCP1
Air Mass Flow Coefficient When Opening is Closed	kg/s-m	0,0001	0,0001	0,00035	0,0024	0,0023	0,00035	0,00041
Air Mass Flow Exponent When Opening is Closed	dimensionless	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65
Type of Rectangular Large Vertical Opening (LVO)		NonPivoted	NonPivoted	NonPivoted	NonPivoted	NonPivoted	HorizontallyPivoted	HorizontallyPivoted
Extra Crack Length or Height of Pivoting Axis	m	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Number of Sets of Opening Factor Data		2	2	2	2	2	2	2
Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0	0	0	0	0
Discharge Coefficient for Opening Factor 1	dimensionless	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Width Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0	0	0	0	0
Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0	0	0	0	0
Start Height Factor for Opening Factor 1	dimensionless	0	0	0	0	0	0	0
Opening Factor 2	dimensionless	1	1	1	1	1	1	1
Discharge Coefficient for Opening Factor 2	dimensionless	1	1	1	1	1	1	1
Width Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1	1	1	1	1	1
Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	1	1	1	1	1	1	1
Start Height Factor for Opening Factor 2	dimensionless	0	0	0	0	0	0	0

Figura 61 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:Component:DetailedOpening".

Campo 7: Sistema de Ventilação: Nó externo**(AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode)**

Este campo permite definir as condições do ambiente exterior do edifício pelos nós externos, através da sua altura de implementação e o valor do coeficiente de pressão do vento que varia em cada fachada, como se pode verificar na Figura 62.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		PE_S_Norte	PE_S_Sul	PE_WCP1_Grelha_	PE_CE_Norte	PE_Sala_Este	PE_Sala_Sul
External Node Height	m	1,375	1,375	2,1	2,75	1,375	1,375
Wind Pressure Coefficient Values Object Name		Coef.Pressão_Norte	Coef.Pressão_Sul	Coef.Pressão_Norte	Coef.Pressão_Norte	Coef.Pressão_Este	Coef.Pressão_Sul

Figura 62 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:ExternalNode".**Campo 8: Sistema de Ventilação: Coeficiente de variedade de pressão do vento****(AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientArray)**

Através deste campo é possível caracterizar a ação do vento sobre o edifício nas suas diferentes orientações. Neste caso decidiu-se caracterizar a direção do vento de 90 em 90 graus como se pode ver na Figura 63.

Field	Units	Obj1
Name		Cada 90 graus
Wind Direction 1	deg	0
Wind Direction 2	deg	90
Wind Direction 3	deg	180
Wind Direction 4	deg	270
Wind Direction 5	deg	
Wind Direction 6	deg	
Wind Direction 7	deg	
Wind Direction 8	deg	
Wind Direction 9	deg	

Figura 63 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientArray".**Campo 9: Sistema de Ventilação: Coeficiente de Valores de Pressão do Vento****(AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues)**

O campo define os coeficientes de pressão do vento de cada direção inseridas no objeto anteriormente referido (Figura 64). Neste caso foram criados 4 objetos: norte, sul, este e oeste. Os coeficientes de pressão do vento de cada orientação foram implementados, segundo dados retirados de Curado (2014).

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4
Name		Coef.Pressão_Sul	Coef.Pressão_Oeste	Coef.Pressão_Norte	Coef.Pressão_Este
AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientArray		Cada 90 graus	Cada 90 graus	Cada 90 graus	Cada 90 graus
Wind Pressure Coefficient Value 1	dimensionless	0,7	-0,5	-0,2	-0,5
Wind Pressure Coefficient Value 2	dimensionless	-0,5	0,7	-0,5	-0,2
Wind Pressure Coefficient Value 3	dimensionless	-0,2	-0,5	0,7	-0,5
Wind Pressure Coefficient Value 4	dimensionless	-0,5	-0,2	-0,5	0,7
Wind Pressure Coefficient Value 5	dimensionless				
Wind Pressure Coefficient Value 6	dimensionless				
Wind Pressure Coefficient Value 7	dimensionless				
Wind Pressure Coefficient Value 8	dimensionless				
Wind Pressure Coefficient Value 9	dimensionless				

Figura 64 - Campo "AirflowNetwork:MultiZone:WindPressureCoefficientValues".

Campo 10: Exaustor de Volume constante (*Fan:ConstantVolume*)

Permite caracterizar um exaustor de volume constante através da sua eficiência total, pressão, taxa máxima do fluxo de ar, eficiência do motor e os nós associados. Como se pode ver na Figura 65, foi criado um agendamento de funcionamento para o exaustor e dados característicos do exaustor existente na cozinha da moradia.

Field	Units	Obj1
Name		Fan_Cozinha
Availability Schedule Name		SchFAN
Fan Total Efficiency		0,7
Pressure Rise	Pa	100
Maximum Flow Rate	m ³ /s	0,0278
Motor Efficiency		0,9
Motor In Airstream Fraction		1
Air Inlet Node Name		Air Loop Inlet Node
Air Outlet Node Name		Air Loop Outlet Nod
End-Use Subcategory		General

Figura 65 - Campo "Fan:ConstantVolume".

Para incorporar este tipo de exaustor no sistema de ventilação da moradia foi necessário inserir os campos que se seguem.

Campo 11: Sistema de Ventilação Distribuição de Nó

(*AirflowNetwork:Distribution:Node*)

O campo é usado para representar os nós associados a um sistema de distribuição de ar. Neste caso foi criado um nó interno que se encontra a 2 metros de altura, associado ao sistema de *Fan:ConstantVolume* (Figura 66).

Field	Units	Obj1
Name		FanInletNode
Component Name or Node Name		Air Loop Inlet Node
Component Object Type or Node Type		Other
Node Height	m	2

Figura 66 - Campo "ArflowNetwork:Distribution:Node".

Campo 12: Sistema de Ventilação: Distribuição através do exaustor

(*AirflowNetwork:Distribution:Component:Fan*)

O campo define o nome do ventilador no sistema de distribuição de ar, como se pode ver na Figura 67 está representado um ventilador de volume constante.

Field	Units	Obj1
Fan Name		Fan_Cozinha
Supply Fan Object Type		Fan:ConstantVolume

Figura 67 - Campo "ArflowNetwork:Distribution:Component:Fan".

Campo 13: Sistema de Ventilação: Distribuição da ligação dos componentes (*AirflowNetwork:Distribution:Component:Linkage*)

O campo permite a ligação entre dois nós e um componente. Na Figura 68 foi criada a ligação do equipamento com o nó interno e externo.

Field	Units	Obj1
Name		Fan_Link
Node 1 Name		FanInletNode
Node 2 Name		Air Loop Outlet Nod
Component Name		Fan_Cozinha
Thermal Zone Name		Cozinha_Piso1

Figura 68 - Campo "ArflowNetwork:Distribution:Component:Linkage".

Campo 14: Ar exterior: Nó (*OutdoorAir:Node*)

O objeto configura as temperaturas e humidade do ar presente no nó exterior dependendo da sua altura. Na Figura 69 verifica-se que o nó exterior está a 8 m de altura.

Field	Units	Obj1
Name		Air Loop Outlet Nod
Height Above Ground	m	8

Figura 69 - Campo "OutdoorAir:Node".

Campo 15: Filial (*Branch*)

Este campo permite criar uma ligação com o componente e nós associados. Como se pode ver na Figura 70, o exaustor está conectado ao nó interior e exterior.

Field	Units	Obj1
Name		Fan Main Branch
Maximum Flow Rate	m3/s	0,0278
Pressure Drop Curve Name		
Component 1 Object Type		Fan:ConstantVolume
Component 1 Name		Fan_Cozinha
Component 1 Inlet Node Name		Air Loop Inlet Node
Component 1 Outlet Node Name		Air Loop Outlet Nod
Component 1 Branch Control Type		

Figura 70 - Campo "Branch".

Campo 16: Lista de filiais (*BranchList*)

O campo possibilita a ordenação entre as "branch" existentes na simulação. Neste caso apenas existe um único "branch" que está relacionado com o exaustor sendo por isso considerado o principal (Figura 71).

Field	Units	Obj1
Name		Main Branch
Branch 1 Name		Fan Main Branch
Branch 2 Name		
Branch 3 Name		

Figura 71 - Campo "BranchList".

Campo 17: Lista de Nó (*NodeList*)

Permite identificar e ordenar todos os nós que são utilizados para um determinado uso. Este parâmetro é sempre necessário quando são criados nós na simulação. Neste caso apenas foram criados dois nós que se interligam ao exaustor existente na cozinha (Figura 72).

Field	Units	Obj
Name		Air Loop Inlet Node
Node 1 Name		Air Loop Outlet Nod
Node 2 Name		
Node 3 Name		

Figura 72 - Campo "NodeList".

4.3.4.8 Grupo: Resultados (*Output Reporting*)

Este Grupo permite obter dados de saída específicos, sendo possível filtrar os pretendidos e desprezar os restantes. Os campos de entrada no grupo em análise são os seguintes:

Campo 1: Dicionário de Variáveis (*Output:VariableDictionary*)

Esta biblioteca é muito importante no EnergyPlus por possuir a chave de cada variável existente numa simulação. Este objeto foi deixado por defeito do programa como se pode ver na Figura 73.

Field	Units	Obj
Key Field		regular
Sort Option		

Figura 73 - Campo "Output:VariableDictionary".

Campo 2: Desenho (*Output:Surfaces:Drawing*)

Permite produzir o desenho em 3D do edifício e desta forma verificar se a leitura dos vértices está correta. Neste caso escolheu-se o formato DXF para ser possível a sua leitura através do programa AutoCad e o desenho construído por linhas regulares, como se pode ver na Figura 74.

Field	Units	Obj
Report Type		DXF
Report Specifications 1		RegularPolyline
Report Specifications 2		

Figura 74 - Campo "Output:Surfaces:Drawing".

Campo 3: Relatórios Síntese (*Output:Table:SummaryReports*)

Este objeto permite obter diversos relatórios síntese sobre a simulação. Neste caso decidiu-se obter todos os relatórios (Figura 75), apresentando o anexo VII os resultados mais relevantes.

Field	Units	Obj1
Report 1 Name		AllSummary
Report 2 Name		
Report 3 Name		
Report 4 Name		
Report 5 Name		

Figura 75 - Campo "Output:Table:SummaryReports".

Campo 4: Variáveis (Output:Variable)

Através deste objeto é possível obter resultados específicos de uma variável numa determinada frequência e agendamento. Como se pode ver na Figura 76, pretende-se obter temperaturas do ar interior de cada zona térmica existente no edifício que sejam apresentados segundo o *timestep* estipulado.

Field	Units	Obj1
Key Value		*
Variable Name		Zone Air Temperatu
Reporting Frequency		Timestep
Schedule Name		

Figura 76 - Campo "Output:Variable".

Campo 5: Diagnósticos (Output:Diagnostics)

A partir deste objeto é possível obter informação detalhada das determinadas advertências existentes na simulação. Este diagnóstico foi necessário para serem corrigidos determinados erros na introdução da geometria da moradia (Figura 77).

Field	Units	Obj1
Key 1		DisplayExtraWarnin
Key 2		

Figura 77 - Campo "Output:Diagnostics".

4.3.5. Apresentação e Discussão de Resultados de Simulação

Os resultados da simulação dinâmica realizada à moradia tomada como Caso de Estudo são apresentados nas figuras seguintes (Figura 78 a Figura 89). Os valores temperatura do ar interior apresentados em cada compartimento simulado como zona térmica (caixa de escadas, serviço, WC da zona de serviço, cozinha, WC do rés-do-chão, sala, quarto QSE, quarto QSD e quarto QN, WC piso 1, corredor e sótão) são obtidos através do programa EnergyPlus ao longo de um ano (janeiro a dezembro). As figuras estão dispostas por pisos. Desta forma isola-se a caixa de escadas dado que esta cruza verticalmente os pisos em estudo.

Na Figura 78 é apresentado o gráfico referente à temperatura do ar interior ao longo de um ano na caixa de escadas. Os valores revelam que a temperatura média do ar interior neste compartimento variou com uma amplitude de 20,26 °C, tendo-se alcançado um valor

máximo no dia 22 de julho de 27,57 °C, e um valor mínimo no dia 15 de janeiro de 11,56 °C. Estes picos de temperaturas devem-se ao facto de esta zona térmica estar em contacto com diversos compartimentos não climatizados na moradia em estudo. As temperaturas ideais de conforto térmico situam-se num intervalo de 18 °C e 25 °C (REH, 2013). Apesar da temperatura média se localizar dentro dessa gama de valores, existem picos que não correspondem às exigências de conforto.

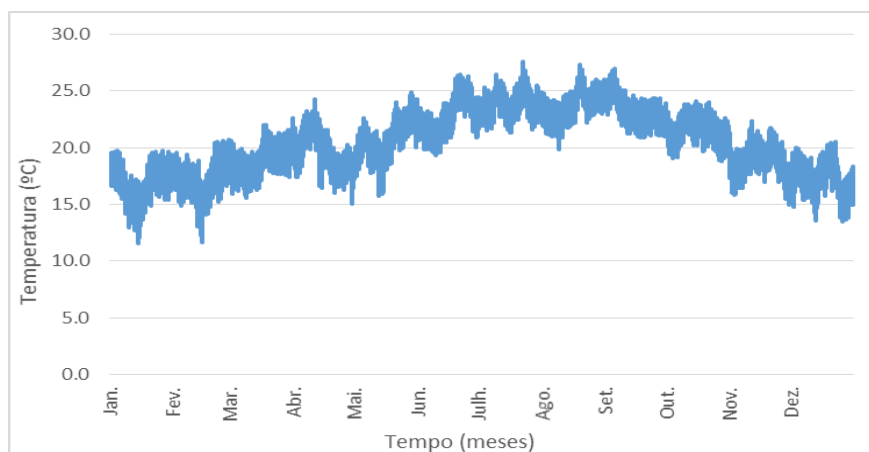


Figura 78 - Temperatura do ar interior da caixa de escadas ao longo de um ano.

4.3.5.1 Temperatura do Ar Interior no Rés-do-chão

No piso de rés-do-chão são apresentados os gráficos referentes à zona de serviço e respetivo WC, cozinha, WC e a sala-de-estar (Figura 12 - Planta do rés-do-chão da moradia.). Nestes últimos três compartimentos a permanência dos ocupantes faz-se sentir com maior frequência.

O gráfico representado na Figura 79 corresponde aos valores de temperatura do ar interior atingido ao longo de um ano na zona de serviço. A temperatura média neste compartimento foi de 19,40 °C, variando entre um valor máximo de 26,10 °C registado no dia 19 de agosto, e um valor mínimo de 12,89 °C, no dia 26 de dezembro. Mais uma vez, verifica-se que a temperatura média se localiza dentro do intervalo de valores desejáveis para o conforto térmico no interior da moradia, no entanto é de notar a existência de alguns picos de temperatura que não correspondem às exigências mínimas de conforto. Esta zona e respetivo WC tem elevadas trocas térmicas por possuírem uma grande área de paredes em contacto com o exterior e uma cobertura plana.

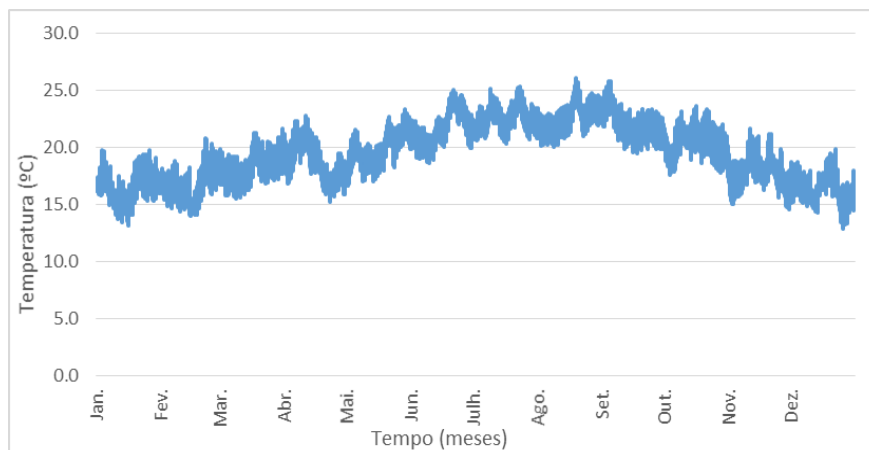


Figura 79 - Temperatura do ar interior na zona de serviço ao longo de um ano.

O gráfico representado na Figura 80 corresponde aos valores de temperatura do ar interior do WC da zona de serviço. Verificam-se valores muito semelhantes à zona de serviço, apresentando uma média de 19,06 °C ao longo de todo o ano, com um valor máximo de 26,38 °C, no dia 19 de agosto, e um valor mínimo de 12,18 °C, no dia 26 de dezembro. A temperatura média do ar apresenta um valor médio próximo daquele considerado como referente ao conforto, no entanto também se verificam picos de temperatura capazes de criar desconforto aos ocupantes.

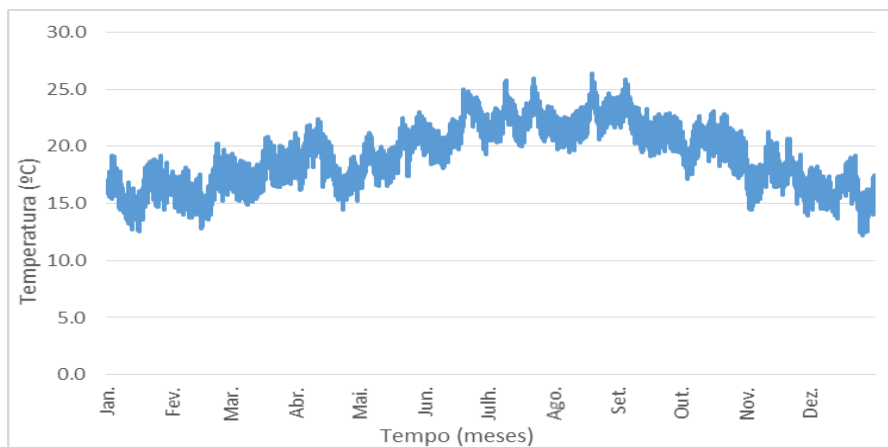


Figura 80 - Temperatura do ar interior no WC da zona de serviço ao longo de um ano.

Apresenta-se na Figura 81, o gráfico da temperatura do ar interior da cozinha. O valor médio de temperatura do ar interior registado ao longo de todo o ano foi 19,28 °C. O valor máximo foi registado no dia 04 de setembro de 27,39 °C, e o valor mínimo no dia 15 de fevereiro de 8,56 °C. Na estação de aquecimento registam-se valores muito abaixo do intervalo de valores referente ao conforto, pelo facto de existir um exaustor que possui uma

conduta em contacto com o ar exterior. Este esquipamento funciona durante cerca de hora e meia diária, provocando fortes oscilações de temperaturas neste compartimento.

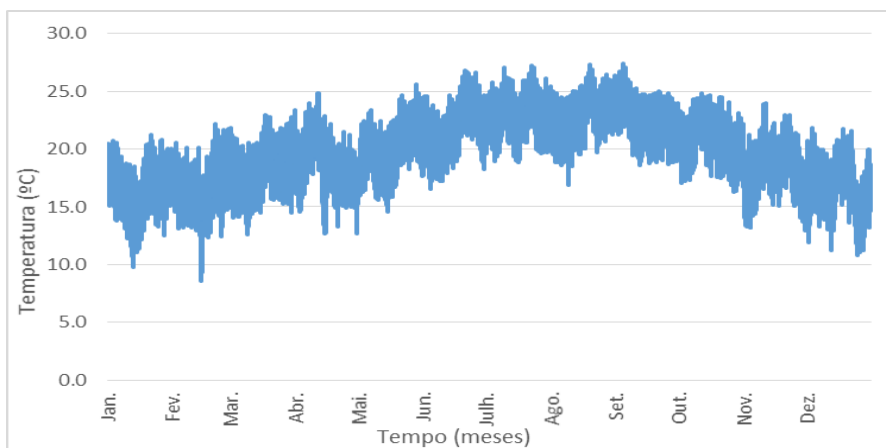


Figura 81 - Temperatura do ar interior na cozinha ao longo do ano.

O gráfico representado na Figura 82 corresponde aos valores da temperatura do ar interior no WC do rés-do-chão. Ao longo de um ano, a temperatura média do ar interior foi 18,26 °C, apresentando um valor máximo de 28,39 °C, registado no dia 22 de julho e um valor mínimo de 5,94 °C, no dia 15 de fevereiro. Este compartimento apresenta elevadas oscilações de temperatura do ar interior. Tal facto pode ser explicado pela existência de uma grelha de ventilação conectada a uma conduta de emissão de ar que está em contacto com o ar exterior, não existindo qualquer resistência à entrada e saída do ar existente no seu interior.

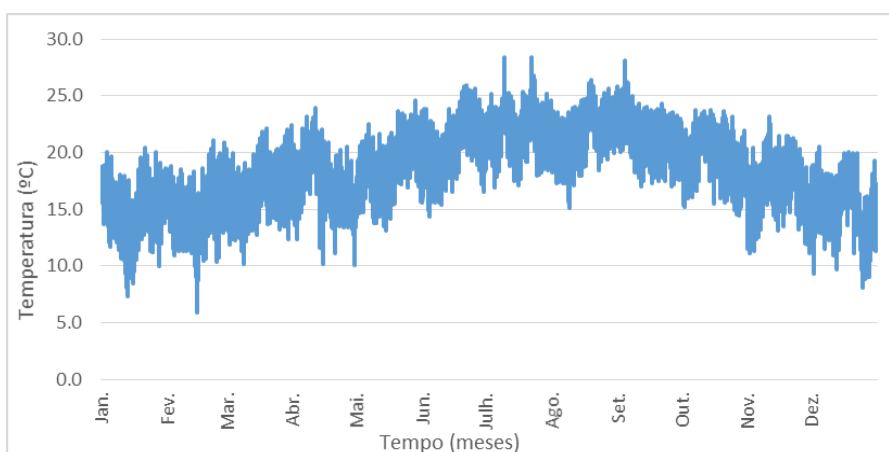


Figura 82 - Temperatura do ar interior no WC do rés-do-chão ao longo de um ano.

Apresenta-se na Figura 83, o gráfico referente à temperatura do ar interior registada ao longo de um ano na sala de estar. Os valores encontram-se num intervalo entre 27,56 °C (temperatura do ar interior máxima) e 11,10 °C (temperatura do ar interior mínima), tendo

sido obtida uma temperatura média de 20,05 °C. Este compartimento apresenta alguns picos de temperatura ao longo do ano consideradas desconfortáveis para os ocupantes. Isto deve-se ao facto do compartimento possuir uma grande área de paredes em contacto com o exterior, uma porta envidraçada orientada a este e uma janela orientada a sul, provocando assim elevada variação das temperaturas fruto das trocas de calor com o exterior.

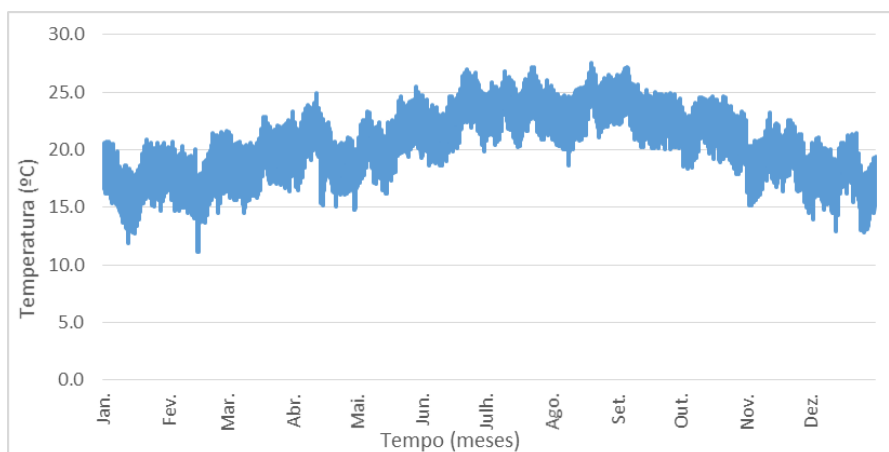


Figura 83 - Temperatura do ar interior na sala ao longo de um ano.

4.3.5.2 Temperatura do Ar Interior no Piso 1

O piso 1 é composto por três quartos (um quarto orientado a sul à esquerda (QSE), outro quarto orientado a sul à direita (QSD) e um quarto orientado a norte (QN)), um WC e um corredor que dá acesso a estes quatro compartimentos e à caixa de escadas (Figura 13 - Planta do primeiro andar da moradia.).

Na Figura 84 é apresentada a variação da temperatura do ar interior ao longo de um ano no QSE. A temperatura média do ar interior neste compartimento foi de 21,09 °C, tendo-se alcançado um valor máximo no dia 22 de julho de 28,80 °C e um valor mínimo no dia 15 de janeiro de 11,97 °C. Este compartimento apresenta a temperatura média do ar interior mais elevada da moradia, por ser um dos compartimentos mais pequenos e por possuir uma das suas paredes exteriores orientada a sul com um vão envidraçado incorporado e ainda uma porta-janela envidraçada orientada a oeste, que dá acesso ao terraço. O compartimento apresenta uma temperatura do ar interior considerada desconfortável, tanto na estação de aquecimento como na de arrefecimento.

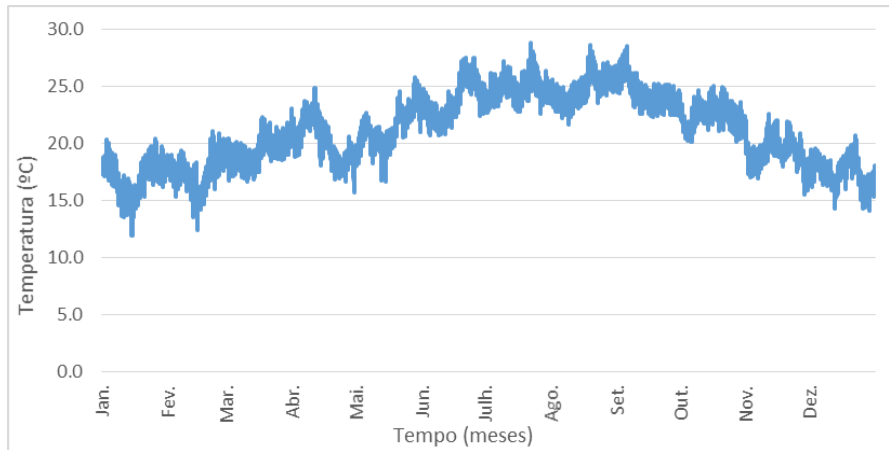


Figura 84 - Temperatura do ar interior do QSE ao longo de um ano.

Os valores de temperatura do ar interior no QSD ao longo de todo o ano estão representados na Figura 85. Os mesmos encontram-se num intervalo entre 28,08 °C (temperatura do ar interior máxima) e 12,13 °C (temperatura do ar interior mínima), sendo a temperatura média 21,06 °C. Este compartimento apresenta resultados semelhantes ao QSE, pelo facto de possuir uma das suas paredes exterior orientada a sul, com uma janela e uma porta-janela envidraçada orientada a este. Também apresenta alguns valores da temperatura do ar interior considerados desconfortáveis, tanto na estação de aquecimento como a de arrefecimento.

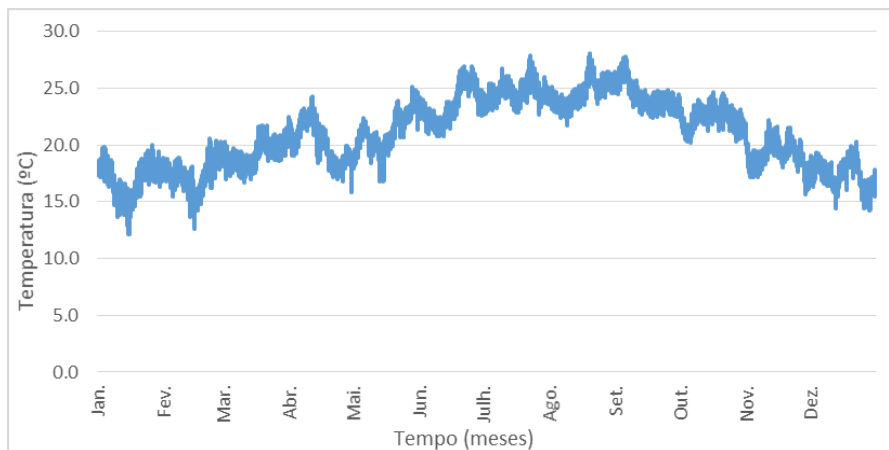


Figura 85 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano.

O gráfico da Figura 86 corresponde aos valores de temperatura do ar interior referente ao QN ao longo de um ano. Neste compartimento a temperatura média foi 20,81 °C, alcançando-se a temperatura máxima, no dia 19 de agosto, de 27,67 °C e a temperatura mínima no dia 15 de janeiro, de 11,98 °C. O QN é semelhante aos QSE e QSD, no entanto este apresenta temperaturas ligeiramente mais baixas, por possuir uma parede orientada a

norte e outra orientada a este, com uma porta-janela envidraçada. Apresenta valores da temperatura do ar interior considerados desconfortáveis em ambas as estações do ano.

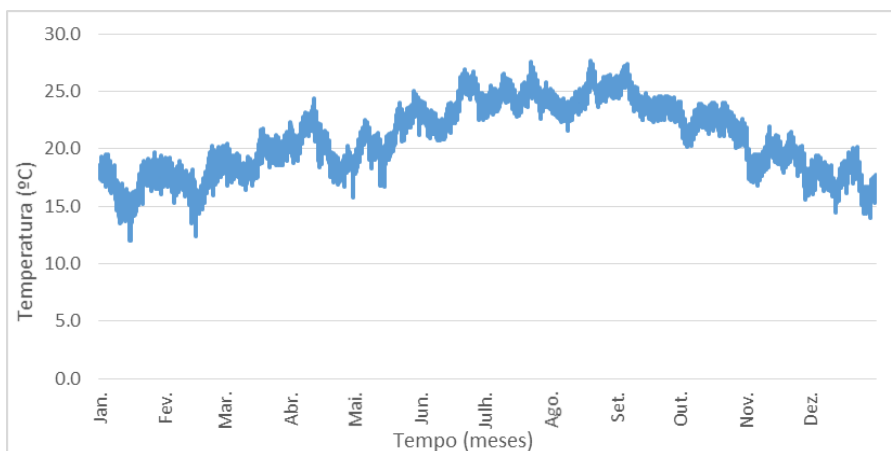


Figura 86 - Temperatura do ar interior no QN ao longo de um ano.

Os valores de temperatura do ar interior alcançados no WC ao longo de todo do piso 1 estão apresentados na Figura 87. A temperatura média do ar interior registada foi 20,32 °C, atingindo um valor máximo de 29,37 °C, correspondente ao dia 22 de julho, e um valor mínimo de 7,61 °C, detetado no dia 15 de janeiro. Estes valores encontram-se na mesma ordem de magnitude dos registados na cozinha (Figura 81) e no WC do rés-do-chão (Figura 82), por existir uma grelha de admissão de ar associada a uma conduta que tem ligação com o exterior, onde não existe qualquer resistência perante a admissão do ar no compartimento. Em ambas as estações, o compartimento apresenta temperaturas desconfortáveis, atingindo elevados picos de temperatura na estação de aquecimento.

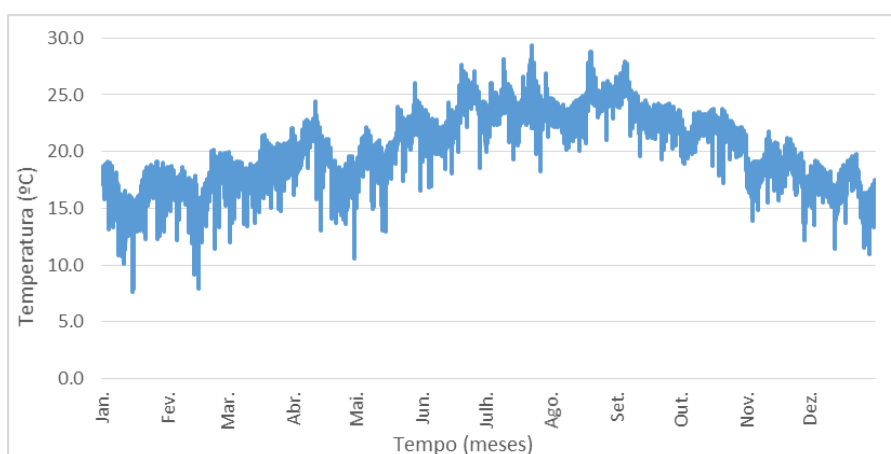


Figura 87 - Temperatura do ar interior no WC do piso 1 ao longo de um ano.

Apresenta-se na Figura 88, o gráfico das temperaturas do ar interior no corredor do piso 1. A temperatura média alcançada ao longo de um ano foi de 20,56 °C, com um valor

máximo registado no dia 22 de julho, de 28,16 °C, e um valor mínimo no dia 15 de janeiro, de 10,92 °C. Este compartimento estabelece ligação com todas as zonas térmicas existentes neste piso e com a caixa de escadas, daí se assistirem a algumas oscilações da temperatura ao longo de todo o ano.

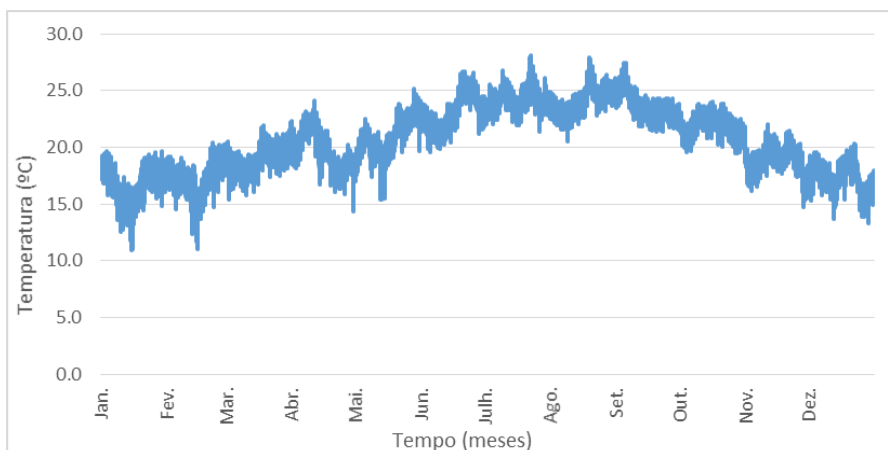


Figura 88 - Temperatura do ar interior no corredor do piso 1 ao longo de um ano.

4.3.5.3 Temperatura do Ar Interior no Piso 2

O piso 2 da moradia corresponde ao sótão, sendo considerado para efeitos de simulação numérica um espaço amplo, sem existência de divisões de compartimentação. Destaca-se de todos os compartimentos existentes na moradia, pelo facto de, mesmo sendo habitado, ser um compartimento que se localiza no desvão da cobertura e como tal, exposto a trocas térmicas mais acentuadas. A Figura 89 diz respeito aos valores de temperatura do ar interior alcançados durante um ano nesta zona térmica. Os mesmos variam dentro de um intervalo que vai desde os 7,56 °C (valor mínimo) até aos 30,58 °C (valor máximo), sendo a temperatura média 18, 61 °C.

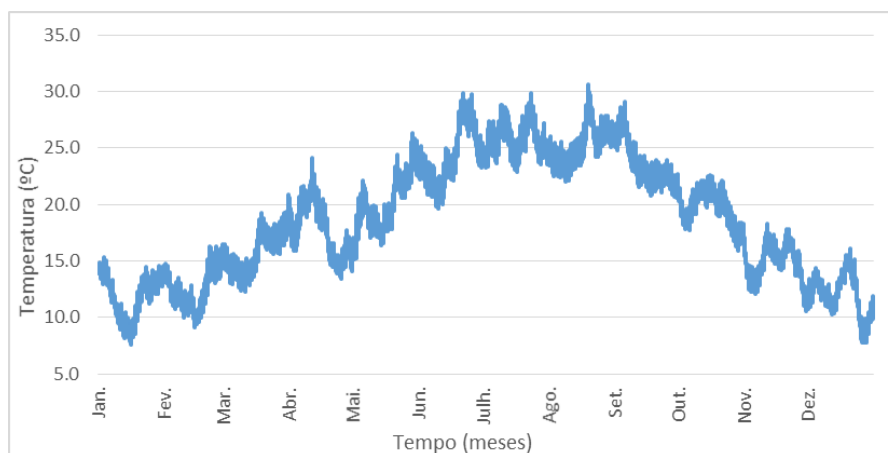


Figura 89 - Temperatura do ar interior no sótão ao longo de um ano.

As zonas térmicas que apresentaram maiores oscilações de temperatura do ar interior foram: todos os WC's existentes na moradia, a cozinha e o sótão. Os WC's e a cozinha apresentaram elevadas oscilações por possuírem uma conduta em contacto com o exterior sem qualquer controlo na admissão e saída do ar. O sótão como foi anteriormente referido devido a sua localização, no desvão da cobertura, está diretamente exposto a diversas trocas térmicas. Apesar das restantes zonas térmicas apresentarem alguns picos ao longo de todo o ano, a temperatura do ar interior sofre oscilações menos drásticas.

4.4. Cálculo do Comportamento Térmico em Regime Permanente

O principal objetivo do estudo realizado em regime permanente consiste na verificação do cumprimento das exigências da regulamentação em vigor (REH, 2013), permitindo uma posterior avaliação do seu desempenho energético. Se o cálculo em regime dinâmico foi utilizado no estudo do conforto térmico, este cálculo permite efetuar uma análise energética.

4.4.1. Seleção do Programa de Cálculo

A simulação foi executada com o auxílio de uma aplicação pertencente ao software CYPE, denominado por CYPECAD MEP (CYPE, 2015).

O CYPECAD MEP é uma ferramenta para avaliação do desempenho energético à luz do REH, que permite estudar o desempenho energético dos edifícios novos de habitação. O software efetua o cálculo com base na modelação tridimensional de edifícios de forma gráfica (CYPE, 2015). O Cypeterm foi o primeiro software certificado em Portugal (na versão 2010) com requisitos da norma ISO/IEC 25051:2006 e da ADENE, tornando-se o único software recomendado pela ADENE.

4.4.2. Seleção da Zona Climática

É necessário definir a região climática em que o edifício se encontra para posterior definição dos parâmetros climáticos da zona. Para o caso de estudo em questão a moradia localiza-se na zona climática Minho-Lima no município de Viana do Castelo.

4.4.3. Construção do Modelo Geométrico

O programa possibilita a construção do modelo de moradia num sistema tridimensional. O modelo adotado é idêntico ao anteriormente criado na simulação dinâmica, como se pode constatar na Figura 90. Foram importados os 4 pisos com as plantas da moradia em estudo (rés-do-chão, piso 1, piso 2 e cobertura). Cada piso foi agrupado ao respetivo grupo, permitindo desenhar o modelo pelas delimitações existentes nas plantas.

Existem duas diferenças neste modelo relativamente ao que foi criado na simulação dinâmica. O vão envidraçado de vidro simples com caixilharia de madeira existente na cobertura orientada a sul teve que ser desprezado, uma vez que possuía uma largura de 0,125 m por 0,17 m e o programa não permite aplicar valores de largura inferiores a 0,50 metros. Outra diferença deste programa está no sótão, onde foi necessário colocar paredes de tijolo 7 em volta da abertura na laje (que representa a existência da caixa de escadas) para delimitar a zona do quarto existente no sótão e desta forma validar na simulação como fração autónoma.

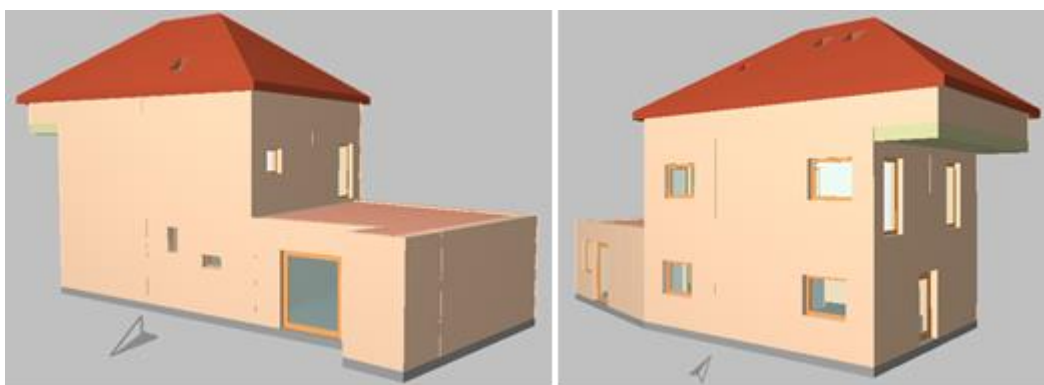


Figura 90 - Modelo geométrico obtido através do programa CYPECAD MEP.

4.4.4. Caracterização dos Parâmetros de Simulação

Com a aplicação do CYPEMEP foram caracterizados os parâmetros que se seguem.

No menu “Obra” foram utilizados os seguintes campos:

- Tipo de edifício - permite definir o tipo de edifício em estudo, neste caso foi escolhida a opção Unifamiliar.
- Dados obra - permite definir as opções de verificação e de saídas de resultados. Foi necessário especificar alguns dados relativos ao tipo de certificação segundo a sua eficiência energética e ar interior, neste caso pretendia-se um certificado de um edifício existente que tinha sido

implementado antes do decreto-lei N°79/2006 ou decreto-lei N°80/2006, e dados relativos à localização da moradia, nomeadamente o tipo de terreno e a proteção contra o vento, classificados como areia semi-densa e ventos médios, respetivamente.

- Parâmetros térmicos - apenas um dos campos foi alterado tendo sido selecionada a opção REH como referência aos valores de coeficientes de transmissão linear das diferentes pontes térmicas da moradia, os restantes, foram inseridos por defeito do programa.

Após a caracterização dos dados exigidos nos parâmetros do menu Obra, trabalhou-se cada grupo individualmente. Foram criados os elementos construtivos, muros e divisões, lajes e aberturas que se apresentavam na sua envolvente, especificando cada material que a constituía, de acordo com o LNEC. Os desenhos foram efetuados segundo as delimitações existentes nas plantas e respetiva implementação.

No menu “Frações autónomas” foi criado um objeto que permite editar e adicionar os sistemas existentes na moradia. Neste caso optou-se por dimensionar apenas o sistema de ventilação natural. Para tal, foi necessário utilizar a folha de cálculo “Aplicação do LNEC para Ventilação no âmbito do REH e RECS” (disponibilizadas pelo LNEC), para obter o balanço de energia do edifício, $R_{ph,I}$ (aquecimento) e $R_{ph,V}$ (arrefecimento). Visto que os restantes sistemas (aquecimento, arrefecimento e AQS) não foram adicionados, o programa considerou por defeito equipamentos elétricos.

No menu “Compartimentos” foi atribuída uma descrição de propriedades pertencente a cada zona/compartimento existente na moradia. A zona denominada por serviço e o seu respetivo WC foram consideradas zonas não úteis uma vez que existe a possibilidade de instalação de comércio e para tal é necessário realizar um estudo à luz do regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS).

Por fim, foi executado o comando “Calcular” onde se geraram os resultados do modelo implementado. Foi necessário acertar a altura livre entre lajes dos compartimentos através da correção do pé-direito das plantas e a partir daí obtiveram-se os resultados finais relativamente ao cumprimento das exigências do REH, desempenho energético, entre outros que existiam no campo “Listagens”.

Seguidamente, serão apresentados os resultados obtidos pela ferramenta de cálculo automático relativamente às exigências do REH e alguns cálculos realizados analiticamente para comparar.

4.4.5. Apresentação e Discussão de Resultados

Os resultados obtidos no estudo em regime permanente efetuado através do programa CYPECAD MEP cumprem o SCE, Decreto-Lei n.º 118/2013 de 20 de agosto e permitem avaliar o desempenho energético de um edifício ou fração autónoma de um edifício existente destinado a habitação (Ver Anexos I a V).

Serão apresentados os resultados relacionados com os requisitos energéticos de aquecimento, arrefecimento e energia primária obtidos na simulação concretizada, com auxílio do anexo I.

Necessidades de Energia Útil de Aquecimento

Durante a estação de aquecimento, a energia útil é fornecida a uma fração por unidade de área útil de pavimento para que o interior do edifício mantenha uma temperatura nominal de 18 °C. Com base neste critério estima-se o valor das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento de uma fração autónoma de um edifício, denominado por N_{ic} . A sua determinação é definida pelo Despacho n.º 15793-I/2013 de 3 de dezembro, tendo como base uma metodologia de cálculo específica.

Para comparação do valor de N_{ic} , estabelece-se um limite máximo do valor das necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento, o parâmetro N_i . O mesmo admite valores de referência para os parâmetros térmicos da envolvente. A sua metodologia de cálculo é apresentada na Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro (2013).

A determinação do valor entre a relação de N_{ic}/N_i , conforme o REH, permite verificar se este está de acordo com o coeficiente admitido em edifícios sujeitos a grandes intervenções perante o seu ano de construção (Tabela 8).

Tabela 8 – Relação entre os valores das necessidades de energia útil de aquecimento e o seu limite em edifícios sujeitos a intervenção.

Ano de construção	N_{ic}/N_i
Anterior a 1960	Não aplicável
Entre 1960 e 1990	1,25
Posterior a 1990	1,15

Neste Caso de Estudo obtiveram-se os valores apresentados na Tabela 9. A razão das necessidades de aquecimento e o seu limite enquadra-se num edifício construído posteriormente a 1990, uma vez que, apesar de estar no limite o valor obtido foi 1,15. A moradia cumpre os requisitos estabelecidos pela Portaria 349-B/2013 de novembro.

Tabela 9 – Resultados obtidos no caso de estudo em relação aos valores das necessidades de energia útil de aquecimento, limite máximo obtido e razão entre ambos.

N_{ic} (kWh/m ² .ano)	N_i (kWh/m ² .ano)	N_{ic}/N_i
56,48	49,07	1,15

Necessidades de Energia Útil de Arrefecimento

Durante a estação de arrefecimento, a energia de arrefecimento é calculada para manter-se uma temperatura nominal de 25 °C, denominado por N_{vc} . A sua determinação é definida pelo Despacho n.º 15793-I/2013 de 3 de dezembro, através de uma metodologia de cálculo específica.

A comparação do N_{vc} estabelece-se com o limite máximo do valor das necessidades nominais anuais de energia útil de arrefecimento, o N_v . O mesmo admite valores de referência para os parâmetros térmicos da envolvente. A sua metodologia de cálculo é apresentada na Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro.

O valor da razão N_{vc}/N_v permite verificar se este está de acordo com o coeficiente indicado na Portaria 349-B/2013 em edifícios sujeitos a grandes intervenções em função do ano de construção (Tabela 10).

Tabela 10 - Relação entre os valores das necessidades de energia útil de arrefecimento e o seu limite em edifícios sujeitos a intervenção.

Ano de construção	N_{vc}/N_v
Anterior a 1960	Não aplicável
Entre 1960 e 1990	1,25
Posterior a 1990	1,15

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos no Caso de Estudo. A razão entre as necessidades de arrefecimento e limite cumpre os requisitos de um edifício contruído posteriormente a 1990, apresentando um valor de 0,80.

Tabela 11 - Resultados obtidos no caso de estudo em relação aos valores das necessidades de energia útil de arrefecimento, limite máximo obtido e razão entre ambos.

N_{vc} (kWh/m ² .ano)	N_v (kWh/m ² .ano)	N_{vc}/N_v
8,41	10,51	0,80

Necessidades de Energia Primária

Durante a estação de aquecimento e arrefecimento, a energia útil fornecida pelos seus sistemas às frações existentes permite manter as temperaturas de conforto no interior do edifício de habitação. Desta forma obtém-se o valor das necessidades nominais de energia primária, denominado por N_{tc} . A metodologia de cálculo do N_{tc} é definida pelo Despacho n.º 15793-I/2013 de 3 de dezembro.

O limite máximo do valor das necessidades nominais anuais de energia primária, N_t , o mesmo corresponde ao valor das referidas necessidades admitindo a inexistência de consumos de energia associados à ventilação mecânica e de sistemas de aproveitamento de energias renováveis, incluído sistemas para preparação de AQS através da energia solar. A sua metodologia de cálculo é apresentada na Portaria 349-B/2013 de 29 de novembro.

O valor da razão N_{tc}/N_t , conforme o REH, permite atribuir a classe energética e determinar se o valor obtido cumpre com os requisitos admitidos em edifícios sujeitos de grandes intervenções (Tabela 12).

Tabela 12 - Relação entre os valores das necessidades de energia primária e o seu limite em edifícios sujeitos a intervenção.

Ano de construção	N_{tc}/N_t
Anterior a 1960	1,50
Entre 1960 e 1990	1,50
Posterior a 1990	1,50

A Tabela 13 apresenta os valores obtidos perante a moradia em estudo. A razão entre as necessidades de energia primária e o seu limite cumpre os valores limite admitido a um edifício contruído posteriormente a 1990, pois apresenta um valor igual a 1,06.

Tabela 13 - Resultados obtidos no caso de estudo em relação aos valores das necessidades de energia primária, limite máximo obtido e razão entre ambos.

N_{tc} (kWh _{EP} /m ² .ano)	N_t (kWh _{EP} /m ² .ano)	N_{tc}/N_t
196,63	185,32	1,06

Tal como estipula o Despacho N°15793-J/2013 é possível determinar a classe energética de um edifício de habitação, através do rácio de classe energética (R_{Nt}). A moradia em estudo apresenta uma classe de eficiência energética C, uma vez que a razão N_{tc}/N_t se encontra num intervalo entre 1,01 e 1,50 (Figura 91) (Ver Anexo V).

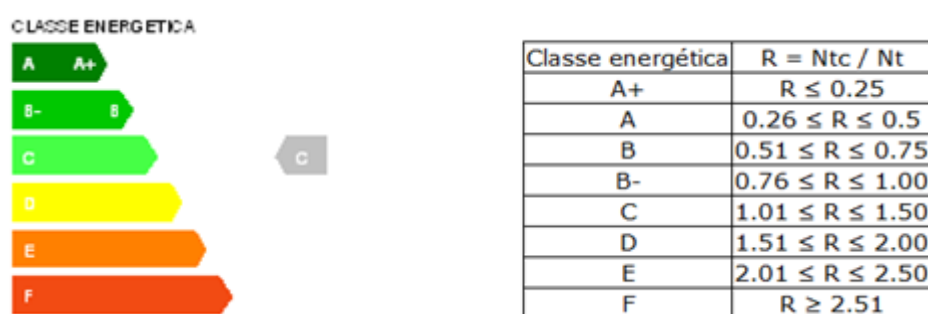


Figura 91 – Classe Energética de um edifício de habitação.

Uma vez realizados os cálculos necessários para determinar a classe energética da moradia tomada como caso de estudo, verificou-se que os valores da razão entre as necessidades de energia útil de aquecimento, arrefecimento, energia primária e os seus limites cumprem com os requisitos estabelecidos pela regulamentação em vigor de edifícios de habitação (REH) no que concerne a edifícios de habitação existentes sujeitos a grandes intervenções, construídos posteriormente a 1990.

5. Caracterização Experimental da Moradia

O objetivo deste Capítulo consiste na caracterização experimental do desempenho térmico da moradia com medições de temperatura do ar interior realizadas *in situ* para três zonas tomadas como referência, durante um período de tempo pré-determinado. Uma vez obtidas as medições *in situ* realizou-se uma comparação entre os valores da temperatura do ar interior obtidos no programa EnergyPlus por via experimental, a fim de validar o modelo de simulação numérica em regime dinâmico implementado no Capítulo 4.3.

5.1. Metodologia do Estudo Experimental

5.1.1. Plano de Medição

O plano de medições implementado no estudo experimental assentou, numa primeira fase, na seleção de três zonas térmicas da moradia tomadas como referência: Quarto orientado a sul à direita (QSD), quarto orientado a norte (QN) e o sótão. Em cada zona térmica foram colocadas duas sondas para medição contínua da temperatura no período entre 20 a 30 de setembro de 2015, representativo da estação de arrefecimento (verão), e 16 a 26 de novembro de 2015, representativo da estação de aquecimento (inverno).

5.1.2. Dispositivos de Medição Instalados

Os dispositivos utilizados no processo de medição experimental da moradia em estudo pertencem à RTR-500 Series da T&D Corporation (T&D Corporation, 2015). Neste caso foi utilizado um equipamento para recolha de dados e gestão da informação, denominado por unidade base RTR-500 (Figura 92), e para a aquisição de dados, 6 unidades remotas RTR-503 (Figura 92) em que cada uma possui uma sonda externa do tipo TR-3310 (Figura 93).

O sistema adotado do tipo RTR-500 (T&D Corporation, 2015) permite dois tipos de aplicação distintos: pode servir de unidade base para registo dos dados recolhidos pelas

sondas, via comunicação wireless, através de uma conexão via USB para descarga dos dados para o computador, ou pode ser utilizado como elemento repetidor que permite expandir o alcance da comunicação wireless. Este equipamento funciona para uma gama de temperaturas de -10 °C para 60 °C (-30 °C para 60 °C quando a alimentação externa está ligada) e para uma gama de humidades relativas que variam entre 20 à 80% (sem condensações) (T&D Corporation, 2015).

Os equipamentos para registo de dados são do tipo RTR-503, em que o equipamento possui uma sonda externa do tipo TR-3310 que mede e regista a humidade e a temperatura do ar interior. Possui as seguintes especificações:

- Na medição da temperatura do ar estes dispositivos garantem uma gama de valores entre 0 °C e 55 °C, uma precisão de mais ou menos 0,30 °C (a uma temperatura de 25 °C e 50 % de humidade relativa) e uma resolução de 0,10 °C (T&D Corporation, 2015).
- Na medição de humidade relativa do ar garantem uma gama de valores entre 10 % e 95 %, uma precisão de mais ou menos 5 % (a uma temperatura de 25 °C e 50 % de humidade relativa) e uma resolução de 1 % (T&D Corporation, 2015).

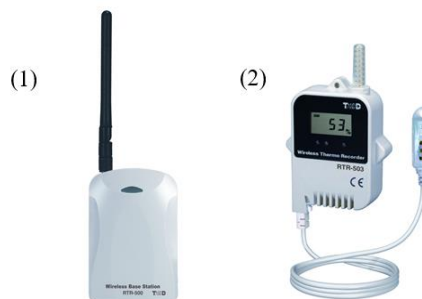


Figura 92 - (1) RTR-500, (2) RTR-503+TR-3310.

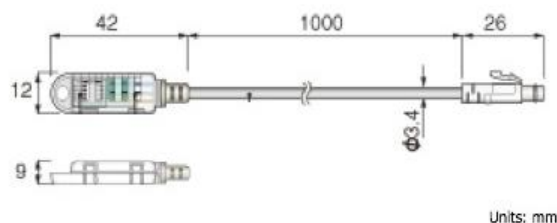


Figura 93 - Sensor TR-3310.

5.1.3. Implantação dos Dispositivos de Aquisição de Dados *in situ*

Nas três zonas térmicas em estudo foram colocadas duas sondas em lados opostos para cada compartimento de forma a obterem-se resultados mais precisos, garantindo assim uma cobertura mais uniforme do espaço. A aplicação das sondas exigiu um cuidado particular, uma vez que estas devem ser implementadas a cerca de um metro de altura e afastadas de paredes em contacto com o exterior para não induzir em erro a sua leitura, fruto da exposição ao efeito da radiação solar nas fachadas. A Figura 94 mostra a localização das sondas no sótão e a Figura 95 nos quartos norte e sul da moradia em estudo.

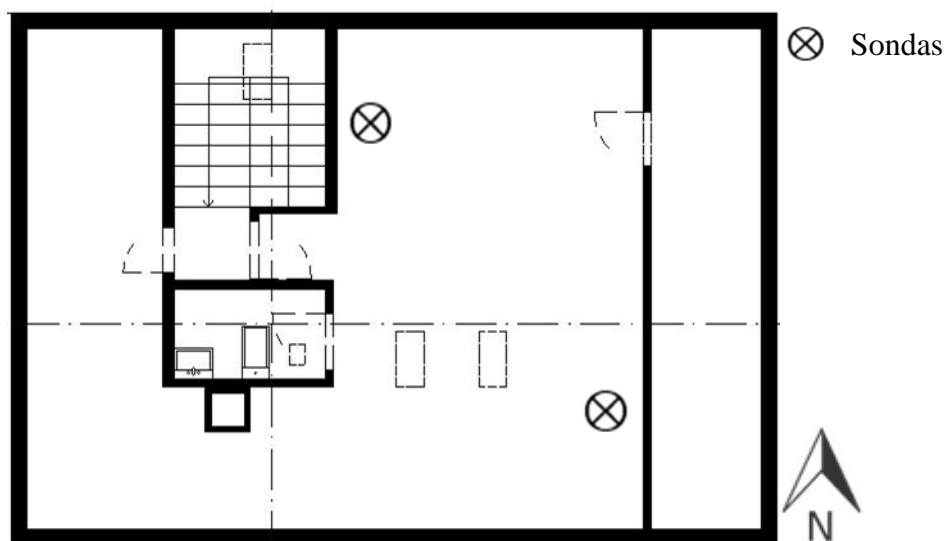


Figura 94 - Implementação das duas sondas no Sótão.

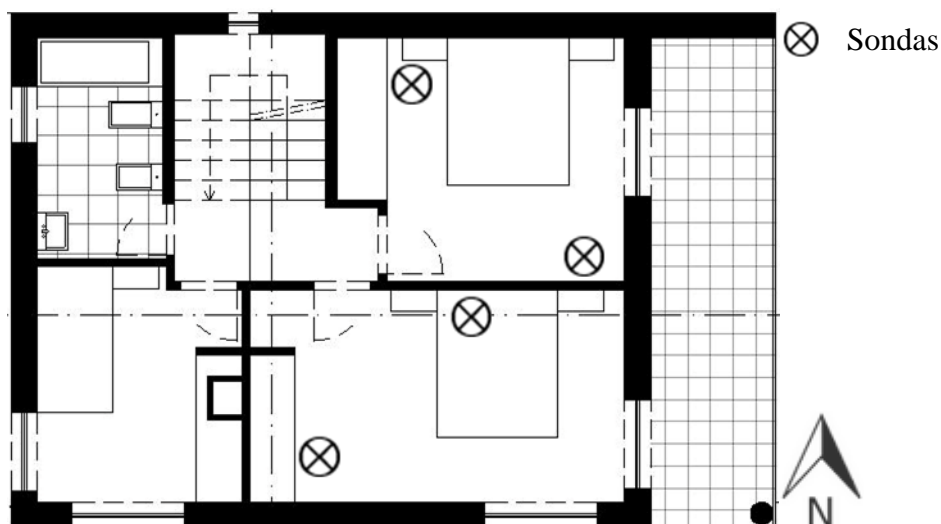


Figura 95 - Implementação das sondas nos dois quartos (QSD e QN).

5.2. Apresentação e Discussão dos Resultados de Medição

Os resultados apresentados nas Figuras 96 a 98 representam a variação da temperatura do ar interior em três zonas térmicas específicas da moradia previamente selecionadas, para os cenários de simulação e de medição *in situ*, entre 20 e 30 de setembro de 2015 (período representativo do verão) e 16 a 26 de novembro de 2015 (período representativo do inverno).

5.2.1. Resultados de Medição - Sótão

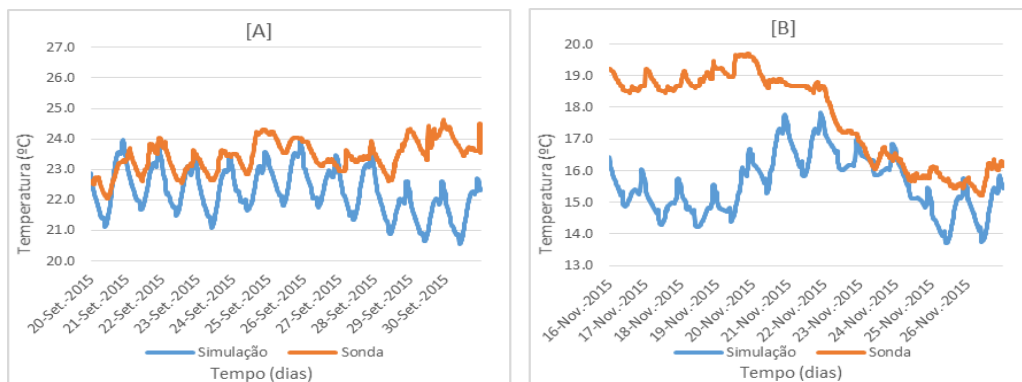


Figura 96 - Comparação da temperatura do ar interior no Sótão da simulação e estudo experimental no verão (A) e no inverno (B).

Na Figura 96, durante o período de 20 a 30 de setembro (A), é possível constatar uma diferença no valor da temperatura média do ar interior entre os cenários, de simulação e experimental, de 1,17 °C. O valor máximo atingido na simulação é 23,96 °C, e na medição experimental 24,65 °C. Os valores mínimos são de 20,55 °C e 22,05 °C, respetivamente. No período entre 16 e 26 novembro (B), a diferença no valor da temperatura média do ar interior entre os cenários é de 2,14 °C. Durante este período de tempo o valor máximo atingido na simulação é 17,82 °C e 19,70 °C na medição experimental. Os valores mínimos atingidos são 13,69 °C e 15,20 °C, respetivamente.

No verão, a diferença de temperaturas entre ambos os cenários flutua dentro de uma gama de variação de - 3,46 °C a + 0,71 °C e o desvio padrão da amostra é de 0,80 °C. No inverno, a diferença de temperaturas entre os cenários flutua de - 0,53 °C a + 4,86 °C e com um desvio padrão de 1,49 °C.

5.2.2. Resultados de Medição - QSD



Figura 97 - Comparação da temperatura do ar interior do QSD da simulação e estudo experimental no verão (A) e no inverno (B).

Na Figura 97, durante o verão (A), é possível observar uma diferença no valor da temperatura média do ar interior, entre ambos os cenários, de apenas 0,23 °C. O valor máximo atingido é 24,88 °C, na simulação e 25,20 °C, na medição *in situ*. Os valores mínimos foram atingidos no mesmo dia (20 de setembro) na simulação e na medição, sendo 22,52 °C e 22,30 °C, respetivamente. A diferença dos valores de temperatura média do ar interior no inverno (B), entre os dois cenários, é 0,93 °C. O valor máximo atingido na simulação é 21,54 °C e na medição experimental é 20,60 °C, com valores mínimos de 17,63 °C e 16,0 °C, respetivamente.

No verão, a diferença de temperaturas flutua entre - 1,41 °C e + 1,68 °C e o desvio padrão é de 0,64 °C. No inverno, a diferença de temperaturas ocorrentes entre a simulação e a medição experimental flutua numa gama de - 1,19 °C a + 3,59 °C, apresentando um desvio padrão de 1,24 °C.

5.2.3. Resultados de Medição - QN



Figura 98 - Comparação da temperatura do ar interior do QN da simulação e estudo experimental no verão (A) e no inverno (B).

A Figura 98 apresenta os resultados obtidos quanto à comparação da temperatura do ar interior do QN da simulação e medição experimental. No gráfico referente ao verão (A) existe uma diferença de 0,05 °C entre os valores de temperatura média do ar interior em ambos os cenários. Os valores máximos registados são 24,60 °C, na simulação e 24,40 °C na medição experimental e os valores mínimos são 22,36 °C e 22,25 °C, respetivamente. No inverno (B) verificou-se uma diferença no valor da temperatura média do ar interior de 0,73 °C, apresentando valores máximos na simulação, de 21,49°C e na medição experimental de 20,50 °C. Os valores mínimos são 17,60°C e 16,15 °C, respetivamente. No verão, a diferença de temperaturas entre os dois cenários flutua dentro de uma faixa relativamente estreita, variável entre - 1,64 °C e + 1,71 °C. O desvio padrão da amostra dista um valor médio da diferença de temperatura de apenas 0,65 °C, não comprometendo o ajuste adequado entre as curvas da temperatura do ar interior registados para os cenários em questão. No inverno, a diferença de temperaturas varia entre - 1,66 °C e + 3,81 °C e apresenta um desvio padrão de 1,27 °C.

O desvio padrão obtido no período de 20 a 30 de setembro de 2015 (período representativo do verão), nas 3 zonas térmicas foi inferior a 1°C, traduzindo-se num ajuste adequado entre os valores da temperatura do ar interior registados na simulação e no estudo experimental. Relativamente ao período de 16 a 26 de novembro de 2015 (período representativo do inverno), perante as 3 zonas térmicas estudadas, o desvio padrão revela alguma dispersão de valores em torno da média. Tal acontecimento pode dever-se ao facto do estudo experimental ter sido realizado num curto período de tempo, tendo possivelmente obtido um pico de temperatura nessa altura, que não traduz na temperatura média típica da zona de Viana do Castelo.

6. Estudo de Soluções de Reforço do Desempenho Energético

6.1. Enquadramento

Pretende-se no presente capítulo estudar um conjunto de soluções de reforço do desempenho energético da moradia tomada como caso de estudo. As soluções de reabilitação, designadas como passivas e ativas, serão avaliadas de acordo com os seus benefícios quanto ao desempenho térmico e energético. As soluções passivas ensaiadas foram as seguintes: reforço do isolamento nas paredes exteriores; reforço do isolamento na cobertura; reforço do isolamento nos vãos envidraçados; reforço do isolamento na aplicação das 3 soluções em conjunto. As soluções ativas basearam-se na implementação de: recuperador de calor a biomassa; ar condicionado multi-split e sistema fotovoltaico.

6.2. Soluções de Reabilitação Passiva

Recorrendo ao modelo de simulação numérica em regime dinâmico já validado (Capítulo 4), estudaram-se 4 soluções de reforço do conforto térmico no interior na moradia, através do efeito dos valores de temperaturas do ar interior em três zonas térmicas específicas (QSD, no QN e no Sótão) ao longo de um ano.

Nos Capítulos 6.2.1 a 6.2.4 serão apresentados os gráficos comparativos entre a solução existente e as soluções de reabilitação passivas propostas para cada zona térmica analisada.

6.2.1. Reforço do Isolamento nas Paredes Exteriores

Reforçou-se o isolamento nas paredes em contacto com o exterior, através da aplicação de 6 cm de XPS pelo seu interior e de uma placa de gesso cartonado com 13mm de espessura, com exceção das paredes existentes no piso 2, onde foram aplicados 10 cm de XPS sob placa de 13 mm de gesso cartonado.

Os valores de temperatura do ar interior na zona térmica designada por QSD (Figura 13 - Planta do primeiro andar da moradia.) estão apresentados na Figura 99. Observou-se uma temperatura média de 21,48 °C ao longo de todo o ano, com um valor máximo registado no dia 19 de agosto, de 28,18 °C e um valor mínimo no dia 15 de janeiro, de 12,55 °C. Em comparação com a solução existente foi possível observar um aumento da temperatura do ar interior ao longo do ano, com maior destaque na estação de aquecimento.

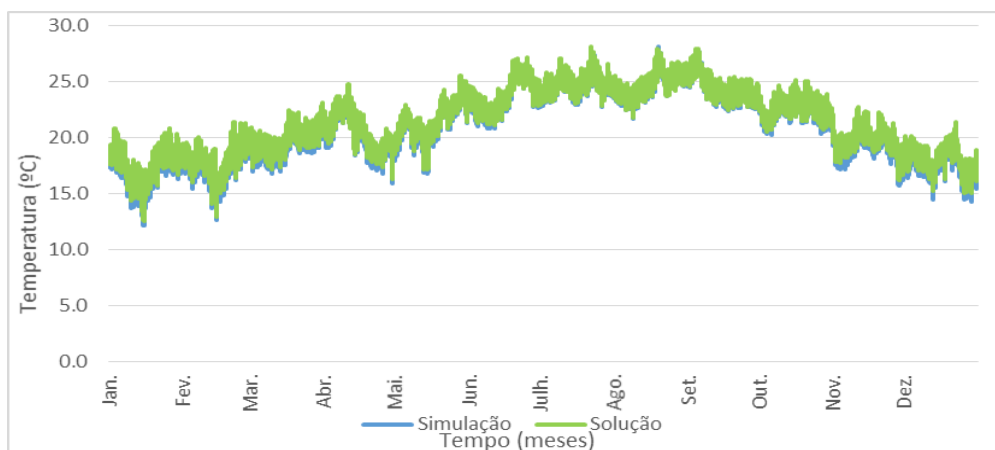


Figura 99 - Temperatura do ar interior no QSD ao longo de um ano (simulação versus aplicação da solução de reforço do isolamento nas paredes exteriores).

O gráfico apresenta, na Figura 100, os valores de temperatura do ar interior alcançados com esta solução, na zona térmica designada por QN (Figura 13 - Planta do primeiro andar da moradia.). Neste compartimento a temperatura média ao longo de todo o ano foi 21,28°C. O valor máximo foi 27,82 °C, registado no dia 19 de agosto, o valor mínimo foi 12,43 °C, registado no dia 15 de janeiro. Observa-se que esta zona térmica possui a mesma tendência que o QSD, no entanto apresenta temperaturas mais baixas durante o ano, por estar orientado mais a norte da moradia.

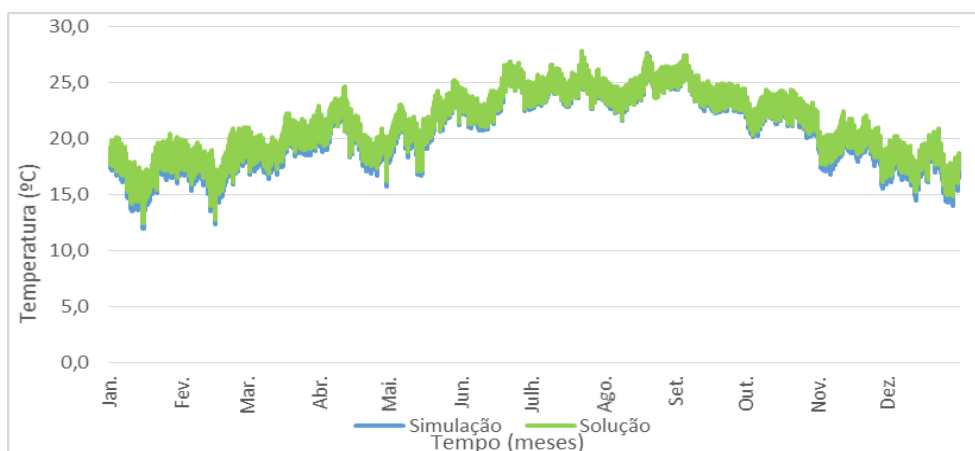


Figura 100 - Temperatura do ar interior no QN ao longo de um ano (simulação vs aplicação da solução de reforço do isolamento nas paredes exteriores).

Na Figura 101 é possível visualizar-se o gráfico referente aos valores de temperatura do ar interior no sótão. A temperatura média ao longo do ano foi 18,99 °C, o valor máximo foi 30,37 °C, atingido no dia 19 de agosto e o valor mínimo foi 8,14 °C, registado no dia 16 de janeiro. No respetivo gráfico, a solução introduz um aumento de temperatura na estação de arrefecimento, gerando assim um cenário de desconforto. Tal acontecimento deve-se ao facto do reforço reter o calor no interior do compartimento, não se dissipando tão facilmente para o exterior.

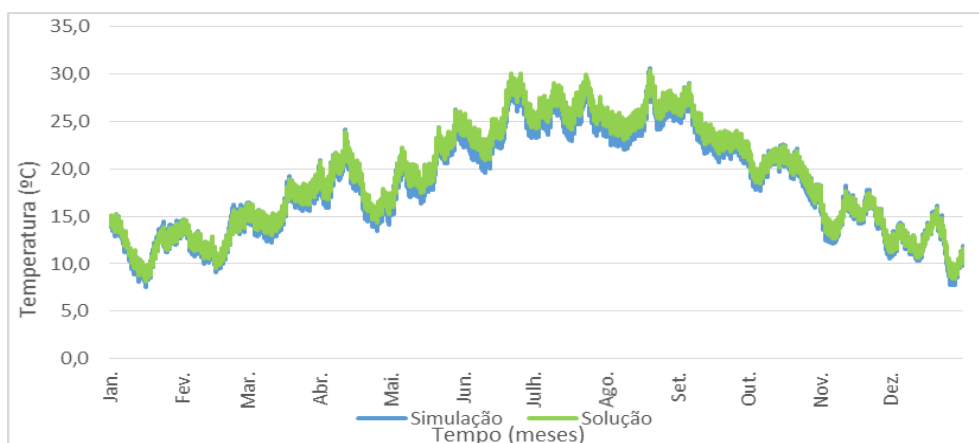


Figura 101 - Temperatura do ar interior no Sótão ao longo de um ano (simulação vs aplicação da solução de reforço do isolamento nas paredes exteriores).

Na Tabela 14 é possível verificar, de forma resumida, o impacto do reforço nas paredes exteriores das três zonas térmicas em estudo. Este reforço permitiu o aumento no valor de T_{min} , apesar de pouco significativo. O sótão foi a zona térmica mais favorecida com o reforço em questão, uma vez que se observou uma ligeira diminuição da $T_{máx}$ e aumento de T_{min} . O reforço do isolamento na envolvente vertical opaca apresenta um reduzido impacto no aumento do conforto das zonas térmicas em estudo.

Tabela 14 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, das 3 zonas térmicas perante a solução existente e o reforço das paredes exteriores.

	Solução Existente			Reforço do Isolamento nas Paredes Exteriores		
	$T_{máx.}$	$T_{med.}$	$T_{min.}$	$T_{máx.}$	$T_{med.}$	$T_{min.}$
QSD	28,08	21,06	12,13	28,18	21,48	12,55
QN	27,67	20,81	11,98	27,82	21,28	12,43
Sótão	30,58	18,61	7,56	30,37	18,99	8,14

$T_{máx.}$ – Temperatura máxima; $T_{med.}$ – Temperatura média; $T_{min.}$ – Temperatura mínima.

6.2.2. Reforço do Isolamento na Cobertura

A cobertura da moradia foi reforçada com a aplicação de 10 cm de XPS e encerrada com uma placa de 13 mm gesso cartonado aplicado pelo interior.

Os valores de temperatura do ar interior registados no QSD estão apresentados na Figura 102. Observou-se uma temperatura média de 21,06 °C ao longo de todo o ano, com um valor máximo registado no dia 19 de agosto, de 28,08 °C, e um valor mínimo no dia 15 de janeiro, de 12,14 °C. A aplicação isolada do reforço do isolamento na cobertura não traz grandes variações na temperatura do ar interior ao compartimento em questão. Pelo gráfico é possível comprovar esta reduzida variação tendo em conta que os valores de temperatura do ar interior obtidos na solução são praticamente idênticos aos valores obtidos na solução existente.

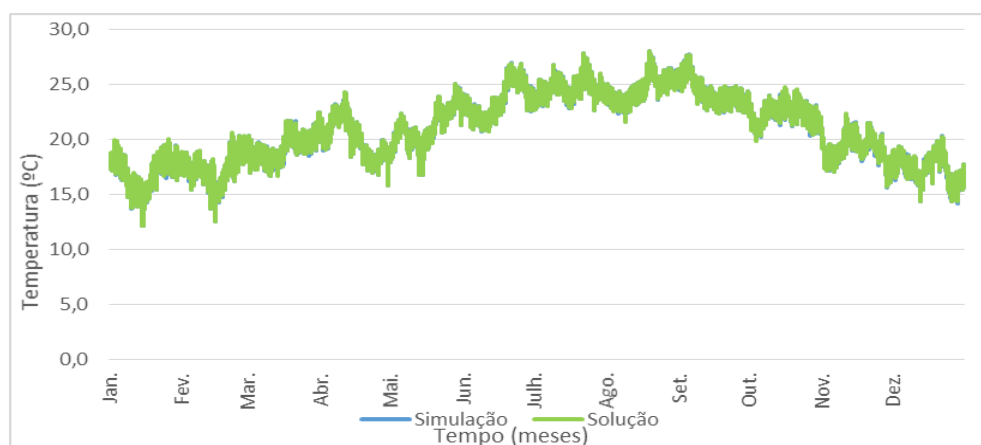


Figura 102 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento na cobertura).

O gráfico exposto na Figura 103 corresponde aos valores de temperatura do ar interior no QN. Neste compartimento a temperatura média é 20,82 °C, alcançando-se uma temperatura máxima no dia 19 de agosto, de 27,66 °C, e uma temperatura mínima no dia 15 de janeiro, de 11,99 °C. Verifica-se de novo que, tal como no QSD, a aplicação isolada no compartimento traz benefícios reduzidos, tendo em conta que os valores de temperatura do ar interior obtidos na solução divergem muito pouco dos valores da solução existente.

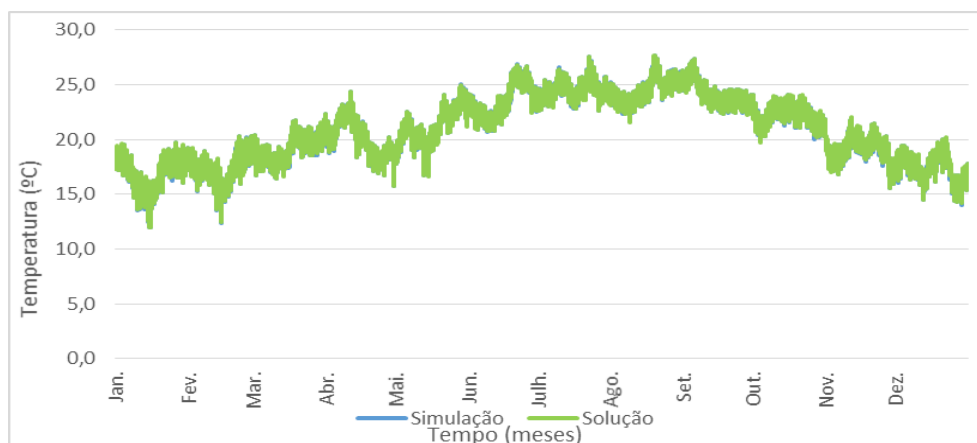


Figura 103 - Temperatura do ar interior do QN ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento na cobertura).

É possível visualizar na Figura 104, o gráfico dos valores de temperatura do ar interior alcançados no sótão. A temperatura média do ar interior atingida foi 18,95 °C. O valor máximo foi atingido no dia 19 de agosto (29,68 °C) e o valor mínimo no dia 16 de janeiro (8,68 °C). No gráfico apresentado é evidente um decréscimo dos valores de temperatura do ar interior na estação de arrefecimento e um aumento dos mesmos na estação de aquecimento. A aplicação do reforço do isolamento da cobertura é considerada benéfica para o compartimento em questão.

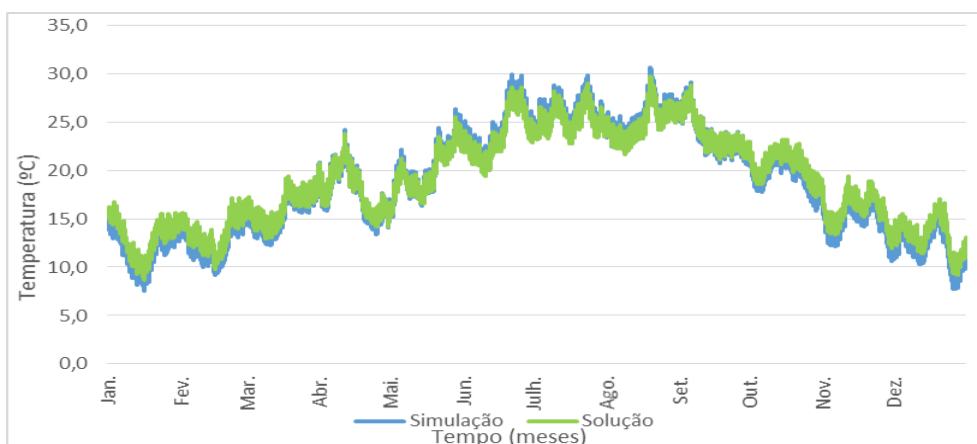


Figura 104 - Temperatura do ar interior do Sótão ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento na cobertura).

A Tabela 15 apresenta, de forma resumida, o impacto do reforço do isolamento na cobertura relativamente às três zonas térmicas em estudo.

Apesar de a solução proporcionar uma diminuição das $T_{\text{máx}}$ e um aumento das T_{min} nos quartos, a mesma apresenta diferenças mínimas. O sótão foi o compartimento que mais

beneficiou com a aplicação do reforço do isolamento na cobertura, visto que está diretamente em contacto com esta. As diferenças de $T_{\text{máx}}$ e $T_{\text{mín}}$ são próximas de 1°C .

Tabela 15 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em $^{\circ}\text{C}$, das 3 zonas térmicas em estudo perante a solução existente e o reforço isolamento na cobertura.

	Solução Existente			Reforço do Isolamento na Cobertura		
	$T_{\text{máx.}}$	$T_{\text{med.}}$	$T_{\text{mín.}}$	$T_{\text{máx.}}$	$T_{\text{med.}}$	$T_{\text{mín.}}$
QSD	28,08	21,06	12,13	28,08	21,06	12,14
QN	27,67	20,81	11,98	27,66	20,82	11,99
Sótão	30,58	18,61	7,56	29,68	18,95	8,68

$T_{\text{máx.}}$ – Temperatura máxima; $T_{\text{med.}}$ – Temperatura média; $T_{\text{mín.}}$ – Temperatura mínima.

6.2.3. Reforço do Isolamento nos Vãos Envidraçados

Reforçou-se o isolamento de todos os vãos envidraçados existentes na moradia com aplicação de vidros SGG PLANITHERM ULTRA N II. Este modelo apresenta um coeficiente de transmissão térmica (U) de $1,4 [\text{W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})]$.

Os valores de temperatura do ar interior obtidos no QSD, com esta solução, estão exibidos na Figura 105. Observou-se uma temperatura média de $21,15^{\circ}\text{C}$ ao longo de todo o ano, com um valor máximo registado no dia 19 de agosto de $28,08^{\circ}\text{C}$, e um valor mínimo no dia 15 de janeiro de $12,13^{\circ}\text{C}$. A análise do gráfico permite observar que este reforço traz benefício acentuado no mês de janeiro, no entanto não traz benefícios consideráveis nos restantes meses do ano para este compartimento.

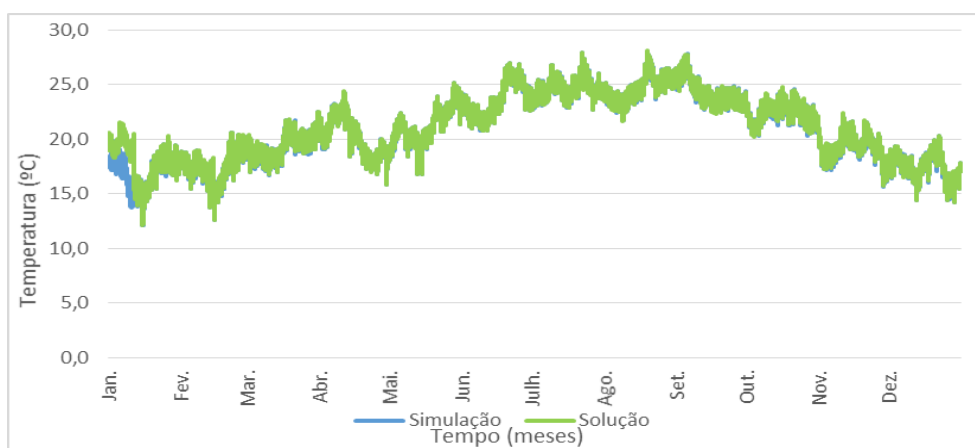


Figura 105 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento nos vãos envidraçados).

O gráfico da Figura 106 corresponde aos valores de temperatura do ar interior referentes ao QN. Neste compartimento a temperatura média é $20,90^{\circ}\text{C}$, alcançando-se uma temperatura máxima no dia 19 de agosto, de $27,72^{\circ}\text{C}$ e uma temperatura mínima no dia 15 de janeiro,

de 11,99 °C. O reforço do isolamento nos vãos envidraçados atua de igual forma neste quarto, destacando-se apenas um aumento dos valores de temperatura do ar interior no mês de janeiro.

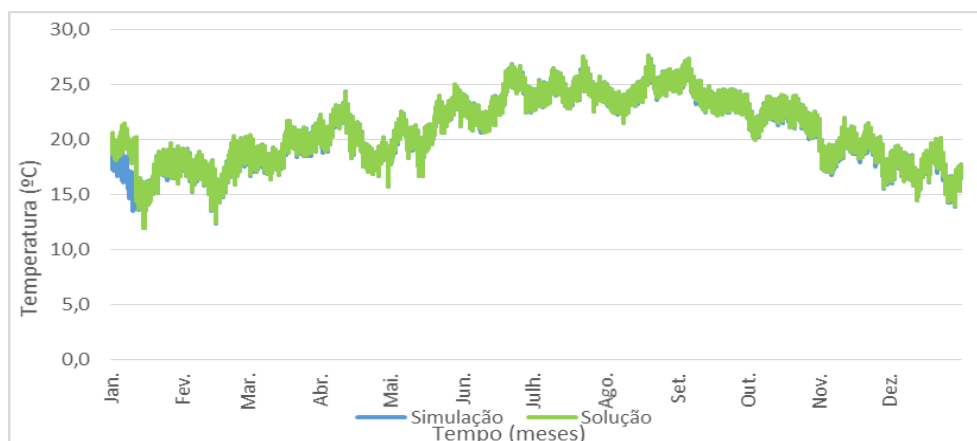


Figura 106 - Temperatura do ar interior do QN ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento nos vãos envidraçados).

A Figura 107 apresenta o gráfico referente aos valores de temperatura do ar interior no sótão ao longo de um ano. A temperatura média alcançada foi 18,70 °C. O valor máximo foi atingido no dia 19 de agosto (30,58 °C) e o valor mínimo no dia 16 de janeiro (7,56 °C). Tal como nos compartimentos anteriores, apenas se destaca uma diferença de valores da temperatura do ar interior no mês de janeiro, sendo praticamente nulo o seu efeito nos restantes meses do ano.

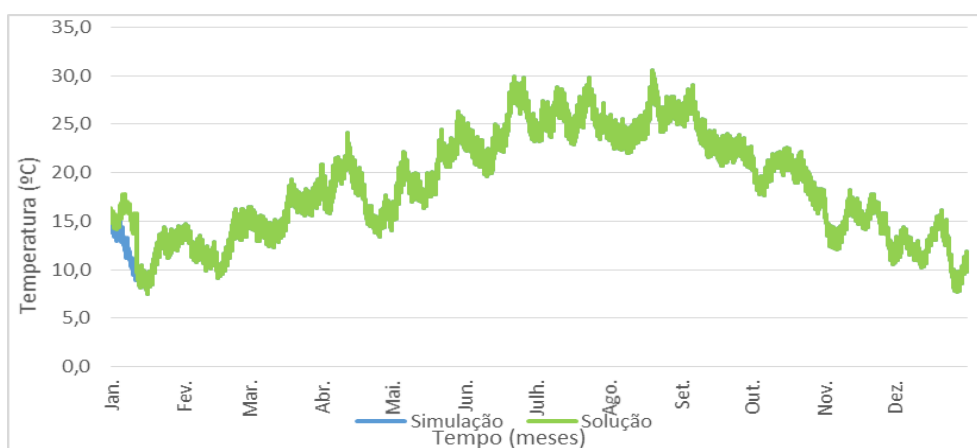


Figura 107 - Temperatura do ar interior do Sótão ao longo de um ano (simulação vs a aplicação do reforço do isolamento nos vãos envidraçados).

Conforme indicado na Tabela 16, de forma resumida, é possível verificar o impacto do reforço do isolamento nos vãos envidraçados dos três compartimentos da moradia.

Tal como mostram os gráficos, é possível verificar que a aplicação deste reforço traduz-se em benefícios reduzidos nas zonas térmicas que foram alvo de estudo. O facto dos envidraçados existentes na moradia já possuírem boas propriedades térmicas justifica a razão para o reduzido efeito evidenciado.

Tabela 16 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, dos três compartimentos em estudo perante a solução existente e o reforço do isolamento nos vãos envidraçados.

	Solução Existente			Reforço Isolamento dos Vãos Envidraçados		
	T _{máx.}	T _{med.}	T _{min.}	T _{máx.}	T _{med.}	T _{min.}
QSD	28,08	21,06	12,13	28,08	21,15	12,13
QN	27,67	20,81	11,98	27,72	20,90	11,99
Sótão	30,58	18,61	7,56	30,58	18,70	7,56

T_{máx.} – Temperatura máxima; T_{med.} – Temperatura média; T_{min.} – Temperatura mínima.

6.2.4. Reforço do Isolamento com Aplicação das 3 Soluções em Conjunto

As Figuras 108 à 110 dizem respeito a implementação conjunta das 3 soluções de isolamento (as paredes em contacto com o exterior, a cobertura e os vãos envidraçados).

Os valores de temperatura do ar interior, alcançados com esta solução no QSD estão expostos na Figura 108. Observou-se uma temperatura média de 21,49 °C ao longo de todo o ano, com um valor máximo registado no dia 22 de julho, de 27,93 °C, e um valor mínimo no dia 15 de janeiro, de 12,53 °C. Ocorre um ligeiro aumento dos valores de temperatura do ar interior ao longo do ano, destacando-se tal facto na estação de aquecimento.

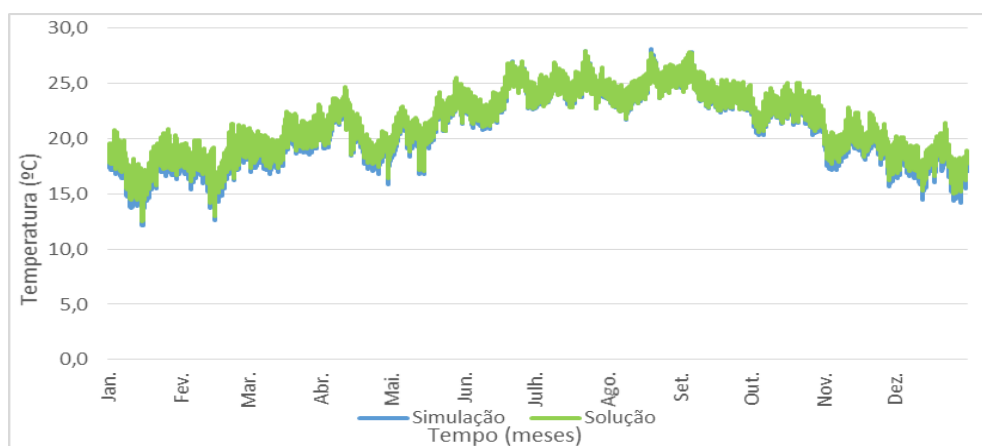


Figura 108 - Temperatura do ar interior do QSD ao longo de um ano (simulação vs a aplicação das 3 soluções em conjunto).

O gráfico apresentado na Figura 109 corresponde aos valores de temperatura do ar interior, alcançados com esta solução, no QN. Neste compartimento a temperatura média é 21,29

°C. Alcançou-se uma temperatura máxima de 27,64 °C, no dia 22 de julho, e uma temperatura mínima de 12,43 °C no dia 15 de janeiro. Idêntico ao QSD, neste compartimento a aplicação das 3 soluções conjuntas de reforço do isolamento em conjunto permite um ligeiro aumento da temperatura ao longo do ano, com maior impacto na estação de aquecimento.

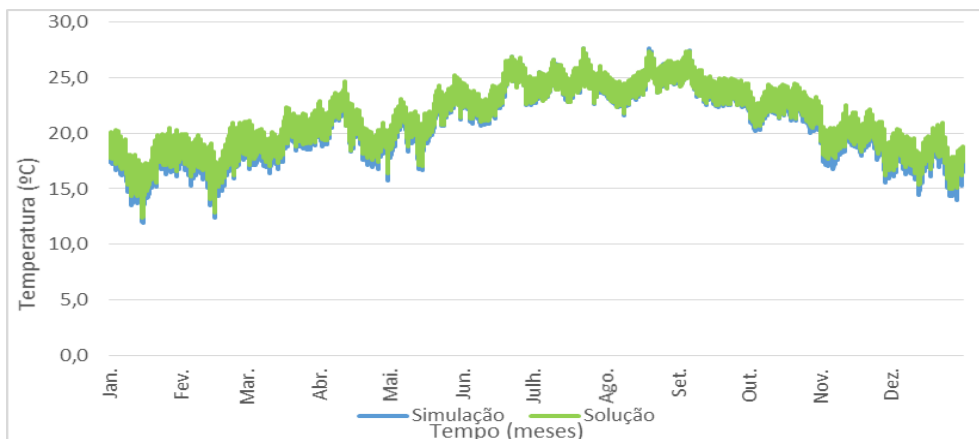


Figura 109 - Temperatura do ar interior do QN ao longo de um ano (simulação vs a aplicação das 3 soluções em conjunto).

Na Figura 110, visualiza-se o gráfico referente à temperatura do ar interior no Sótão. A temperatura média alcançada foi 19,60 °C. O valor máximo foi atingido no dia 19 de agosto (28,68 °C) e o valor mínimo no dia 15 de janeiro (9,77 °C). A zona térmica em estudo é favorecida com este reforço uma vez que apresenta um aumento da temperatura do ar interior em toda a estação de aquecimento e uma diminuição da mesma na estação de arrefecimento, aproximando-se assim das temperaturas ideais de conforto (18 °C, no inverno, e 25 °C, no verão).



Figura 110 - Temperatura do ar interior do Sótão ao longo de um ano (simulação vs a aplicação das 3 soluções em conjunto).

Na Tabela 17 é possível constatar, de forma resumida, o impacto que o reforço das 3 soluções em conjunto teve nos três compartimentos em estudo.

Verifica-se um aumento da T_{\min} e um ligeiro decréscimo de T_{\max} nos quartos. No entanto, o sótão é a zona térmica que mais beneficia com esta solução visto que se verificam aumentos de T_{\min} até 2,0 °C e diminuições da T_{\max} também até 2,0 °C. É possível afirmar que, como seria de esperar, a aplicação em conjunto das três soluções de isolamento é mais vantajosa do que a aplicação individual.

Tabela 17 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, dos três compartimentos em estudo (solução existente vs o reforço das 3 soluções em conjunto).

	Solução Existente			Reforço das 3 Soluções em Conjunto		
	$T_{\max.}$	$T_{\text{med.}}$	$T_{\min.}$	$T_{\max.}$	$T_{\text{med.}}$	$T_{\min.}$
QSD	28,08	21,06	12,13	27,93	21,49	12,53
QN	27,67	20,81	11,98	27,64	21,29	12,43
Sótão	30,58	18,61	7,56	28,68	19,60	9,77

$T_{\max.}$ – Temperatura máxima; $T_{\text{med.}}$ – Temperatura média; $T_{\min.}$ – Temperatura mínima.

6.2.5. Análise de Soluções de Reforço do Desempenho Térmico

Após a análise das soluções de reforço do desempenho térmico nas 3 zonas térmicas específicas da moradia (QSD, QN e Sótão), concluiu-se que o Sótão apresenta um maior impacto em matéria de desempenho sem reforço por se localizar no desvão da cobertura e como tal, exposto a trocas térmicas mais acentuadas. Atingem-se valores de temperatura do ar elevados na estação de arrefecimento e valores baixos na estação de aquecimento. Tendo em conta que este compartimento é habitável torna-se essencial a sua intervenção.

Todas as soluções passivas ensaiadas apresentaram benefícios ao intervir no sótão, no entanto a aplicação em conjunto das três soluções de isolamento é mais vantajosa do que a aplicação individual, apesar de exigir um maior investimento.

Realizou-se uma análise individual ao sótão que consistiu em:

- Aplicar na cobertura 10 cm de XPS com placa de 1,3 cm de gesso cartonado;
- Aplicar nas paredes em contacto com o exterior, 10 cm de XPS com placa de 1,3 cm de gesso cartonado;
- Aplicar nos vãos envidraçados baixa emissividade ($U = 1,4 \text{ [W/(m}^2\cdot\text{°C)]}$).

O facto de o Sótão ser mais isolado permite aos quartos conservar mais calor na estação de aquecimento, no entanto o benefício é mínimo. A sua intervenção apenas implica uma zona térmica enquanto a aplicação de solução de reforço em conjunto necessita de uma ativação nas zonas térmicas da moradia. Através da Tabela 18 é possível verificar as diferenças entre a solução existente e as soluções de reforço no sótão e das 3 soluções em conjunto.

Tabela 18 - Resultados das temperaturas do ar interior, obtidos em °C, dos três compartimentos em estudo (Solução Existente vs Reforço do Sótão vs Reforço das 3 Soluções em Conjunto).

	Solução Existente			Solução Reforço do Sótão			Reforço das 3 Soluções em Conjunto		
	T _{máx.}	T _{med.}	T _{min.}	T _{máx.}	T _{med.}	T _{min.}	T _{máx.}	T _{med.}	T _{min.}
QSD	28,08	21,06	12,13	28,04	21,08	12,21	27,93	21,49	12,53
QN	27,67	20,81	11,98	27,68	20,83	12,03	27,64	21,29	12,43
Sótão	30,58	18,61	7,56	28,66	19,53	9,64	28,68	19,60	9,77

6.3. Obtenção de Classe de Eficiência Energética

A aplicação do software CYPEMEP permitiu o cálculo da classe de eficiência energética de cada solução de reforço anteriormente apresentada. Efetuou-se uma comparação entre as várias soluções de reforço com o cenário existente, através do cálculo das necessidades de energia do aquecimento, arrefecimento, energia primária e ainda da sua classe energética.

Partindo da razão da necessidade de energia primária e o seu limite determinou-se a classe energética da solução existente (classe C). Esta solução apresenta uma necessidade de aquecimento anual de 56,48 [kWh/m².ano] (acima do limite), uma necessidade de arrefecimento de 8,41 [kWh/m².ano] (abaixo do seu limite) e uma necessidade de energia primária de 196,63 [kWh_{EP}/m².ano] (abaixo do seu limite) (Tabela 19).

Com o reforço do isolamento da cobertura obteve-se uma classe energética B- (Tabela 19). As necessidades nominais anuais diminuíram relativamente à solução existente e apresentaram-se todas abaixo do limite de energia útil. As necessidades nominais anuais de energia primária diminuíram em cerca de 23,14 [kWh_{EP}/m².ano] em comparação com a solução existente.

O reforço das paredes em contacto com o exterior permite obter uma classe energética B-. Nesta situação as necessidades nominais anuais de energia útil de aquecimento diminuem comparativamente à solução existente em cerca de 17,0 [kWh/m².ano], apresentando um ligeiro aumento nas necessidades de arrefecimento de 1,3 [kWh/m².ano] e uma diminuição das necessidades de energia primária de 40,14 [kWh_{EP}/m².ano] (Tabela 19).

Com o reforço dos vãos envidraçados obteve-se uma classe energética C. Esta solução pouco difere dos dados obtidos na solução existente, existindo uma ligeira diminuição das necessidades de aquecimento de 3,22 [kWh/m².ano] e das necessidades de energia primária de 7,74 [kWh_{EP}/m².ano] (Tabela 19).

A aplicação conjunta das três soluções permite obter uma classe energética B. A solução conjunta apresenta os melhores resultados relativamente à existente em relação às necessidades de aquecimento, com uma diminuição de 25,37 [kWh/m².ano] e das necessidades de energia primária com uma diminuição de 59,96 [kWh_{EP}/m².ano]. No entanto, apresenta um ligeiro aumento das necessidades de arrefecimento de 2,58 [kWh/m².ano].

Por último, com o reforço do desempenho do Sótão obtém-se uma classe energética B- (Tabela 19). Esta solução permite uma diminuição em todas as necessidades nominais anuais relativamente à solução existente.

Tabela 19 – Resultados das necessidades nominais anuais de aquecimento, arrefecimento e energia primária da simulação e dos reforços aplicados.

	N _{ic}	N _i	N _{vc}	N _v	N _{tc}	N _t	N _{tc} /N _t	Classe Energética
Solução Existente	56,48	49,07	8,41	10,51	196,63	185,32	1,06	C
Reforço da cobertura	47,65	48,31	7,21	10,51	173,49	183,42	0,95	B-
Reforço das Paredes	39,49	49,87	9,72	10,51	156,49	188,59	0,83	B-
Reforço dos Envidraçados	53,26	49,05	8,76	10,51	188,89	185,27	1,02	C
Reforços em conjunto	31,11	49,07	10,99	10,51	136,67	186,59	0,73	B
Reforço do Sótão	36,94	48,81	8,53	10,51	148,47	185,30	0,80	B-

A implementação destas soluções proporciona uma melhoria da eficiência energética da moradia. O reforço dos vãos envidraçados apresentou um benefício mínimo de eficiência energética, pelo facto de grande parte dos envidraçados existentes na moradia já possuírem boas propriedades térmicas. Os resultados comprovam, mais uma vez, que a aplicação das 3 soluções em conjunto é mais vantajosa que a aplicação das mesmas de forma individual, obtendo-se uma classe energética B. A solução referente ao reforço do sótão, incluindo o reforço das suas paredes em contacto exterior, a cobertura e os vãos envidraçados, apresentou-se como sendo a segunda melhor estratégia a aplicar na moradia para obtenção de uma classe energética superior à existente.

6.4. Implementação de Sistemas e Equipamentos

Neste subcapítulo são apresentados os resultados referentes às soluções de reabilitação ativa, a partir da implementação de sistemas e de equipamentos. Os resultados serão comparados com os da solução existente. Foram escolhidas as seguintes soluções implementadas: recuperador de calor, sistema de ar condicionado multi-split e sistema fotovoltaico de apoio.

A Tabela 20 diz respeito aos resultados obtidos comparativamente à solução existente e o ganho com os equipamentos/sistemas existentes na moradia. Para tal foram dimensionados os seguintes equipamentos:

- Esquentador com rendimento de 82 % e uma potência de 8,7 kW. O sistema supera 100 % das necessidades de AQS;
- Sistema termossifão foi dimensionado no programa Solterm 5, para análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. O sistema possui um depósito de 300 litros acompanhado de dois painéis solares com uma área total de 4 m², tem um rendimento de 75,90 % e um coeficiente de perdas térmicas de 3,480 [W/(m²K)]. As restantes características estão apresentadas no Capítulo 3;
- A salamandra a biomassa, está implementada na sala de estar, tem um rendimento de 68 % e possui 7,5 kW de potência. O equipamento supera 20 % das necessidades de energia total útil da moradia (os restantes 80 % são supridos com um sistema elétrico, solução admitida por defeito no REH).

Tabela 20 – Resultados dos ganhos existentes vs equipamentos/sistemas.

	Nic	Ni	Nvc	Nv	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe Energética
Solução existente s/ equipamentos	56,48	49,07	8,41	10,51	155,45	185,32	0,84	B-
Solução c/ equipamentos existentes	56,48	49,07	8,41	10,51	110,14	145,29	0,76	B

A solução com os equipamentos existentes na moradia comparativamente à solução existente que possui equipamentos por defeito do REH permitiria uma diminuição das necessidades de energia primária em cerca de 45 [kWh_{EP}/m².ano] obtendo-se uma classe energética de B.

A Tabela 21 apresenta os resultados obtidos após a substituição da salamandra e do equipamento elétrico por um recuperador de calor que supera 100 % das necessidades de aquecimento na moradia. Este possui um rendimento ótico de 79 % e uma potência nominal de 21,5 kW.

Tabela 21 – Resultados do recuperador de calor vs simulação c/equipamentos.

	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe Energética
Solução c/ equipamentos	110,14	145,29	0,76	B-
Recuperador de Calor	2,69	99,49	0,03	A+

Este sistema a biomassa é uma solução que beneficiaria a moradia. As necessidades de energia primária diminuiriam para 2,69 [kWh_{EP}/m².ano] e atingir-se-ia a melhor classe energética que o REH permite, a classe A+. Isto deve-se ao facto do combustível utilizado ser biomassa, neste caso sólida, sendo uma fonte de energia renovável, a sua utilização é favorecida pelo REH. A contribuição do sistema é muito elevada, $E_{ren} = 10497,4$ [kWh/ano], tendo um aumento de $E_{ren} = 8058,29$ [kWh/ano] relativamente à salamandra existente. Este sistema consegue superar praticamente na sua totalidade as necessidades de aquecimento, sendo estas as mais acentuadas no caso de estudo.

A Tabela 22 apresenta os resultados obtidos por aplicação de um sistema de ar condicionado multi-split na moradia. O sistema é constituído por 4 unidades interiores e uma exterior, sendo estas instaladas nos quartos existentes e decidiu-se manter a salamandra na sala. O sistema possui um COP de 3,8, um EER de 5,10 e uma potência de 8,2 kW.

Tabela 22 – Resultados do sistema multi-split vs simulação c/equipamentos.

	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe Energética
Solução c/ equipamentos	110,14	145,29	0,76	B-
Ar condicionado Multi-Split	49,44	87,58	0,56	B

Com a implementação deste sistema obter-se-ia uma classe energética B. As necessidades de energia primária diminuiriam em 60,70 [kWh_{EP}/m².ano] em relação ao cenário com os equipamentos existentes na moradia. Para tentar obter uma classe energética superior foi dimensionado um sistema fotovoltaico para apoiar este sistema.

No dimensionamento do sistema fotovoltaico foi utilizado o Solterm 5 e dimensionou-se um sistema ligado à rede, seguindo indicações do programa. O painel escolhido possui módulos Siemens M75S (cada modulo de 0,63 m²) e um inversor Fronius IG-40. Foi implementada uma potência nominal de 1500 W (potência máxima de instalação sem obrigação de efetuar um registo segundo o Decreto-Lei nº 153/2014). Apresenta-se na Tabela 23 os resultados obtidos destes sistemas em conjunto.

Tabela 23 – Resultados do sistema multi-split + fotovoltaico vs sistema multi-split.

	Ntc	Nt	Ntc/Nt	Classe Energética
Ar condicionado Multi-Split	49,44	87,58	0,56	B
Ar condicionado Multi-Split e Sistema Fotovoltaico	42,55	87,58	0,49	A

Com a adição do sistema fotovoltaico a moradia atingiria uma classe energética A, diminuindo as necessidades de energia primária em cerca de 6,89 [kWh_{EP}/m².ano].

O equipamento mais vantajoso para o caso de estudo é o recuperador de calor, este permite satisfazer as necessidades de aquecimento anuais da moradia (são as mais acentuadas na moradia). Trata-se de uma tecnologia limpa que utiliza como fonte de energia renovável, a biomassa.

7. Conclusões

As principais conclusões na dissertação em curso, traduzidas pelo estudo de reabilitação energética e do conforto térmico numa moradia unifamiliar situada em Torre no concelho de Viana do Castelo, são as seguintes:

1. O estudo desenvolvido foi apoiado na construção de um modelo de simulação numérica, em regime dinâmico (programa Energyplus) que permitiu avaliar as condições de conforto dos ocupantes, através da análise das temperaturas do ar interior ao longo de um ano, em cada zona térmica da moradia. O desconforto térmico é particularmente evidente nos WC's, cozinha e sótão, devido às inúmeras oscilações de temperatura ocorridas durante o período de tempo em estudo, tendo em conta que os valores de conforto ideal se encontram numa gama que varia entre 18°C e 25°C.
2. Tendo como base o modelo construído, foram validados os resultados obtidos através de um estudo experimental executado a três zonas térmicas específicas da moradia tomada como Caso de Estudo (QN, QSD e Sótão). O mesmo foi realizado num período entre 20 a 30 de setembro (representativo do verão) e 16 a 26 de novembro (representativo do inverno), classificando-se o Sótão como a zona térmica com maiores necessidades de reabilitação energética, visto se ter evidenciado uma maior dispersão dos valores, 0,80°C e 1,49°C, respetivamente.
3. Validado o modelo com os resultados experimentais, realizou-se um estudo que implicou a análise de um conjunto de soluções de reabilitação passiva (reforço do isolamento nas paredes exteriores, na cobertura, nos vãos envidraçados e o conjunto destas três soluções). A aplicação do conjunto de soluções é mais vantajosa do que a aplicação individual para os compartimentos em estudo, permitindo um ganho global de 0,63°C e de 61,46 [kWh/m².ano] em relação à solução existente.

4. O estudo englobou ainda um modelo de simulação numérica, em regime permanente (no programa CYPECAD MEP), tendo permitido avaliar a eficiência energética da moradia e das soluções de reabilitação passiva. A classe energética atingida pela moradia foi C. A solução de reabilitação conjunta permitiria obter uma classe energética B.
5. Realizou-se um estudo com base na análise de um conjunto de soluções de reabilitação ativa (implementação do recuperador de calor a biomassa, do ar condicionado multi-split e do sistema fotovoltaico). O recuperador de calor foi a solução ativa com maior destaque, permitindo obter uma classe energética A+ caso fosse implementado.
6. Uma vez que o sótão foi considerado a zona térmica que apresentou maior necessidade de intervenção, realizou-se uma análise, à parte, para este compartimento. No entanto a aplicação dos reforços em conjunto traz mais benefícios à moradia.

O estudo desenvolvido nesta dissertação pode ser futuramente ampliado no domínio do conforto térmico e da eficiência energética de moradias unifamiliares. Para tal considera-se relevante abordar os seguintes aspetos:

- Levantamento de dados mais precisos, utilizando sondas em todas as zonas térmicas da moradia num período de tempo mais alargado, de preferência ao longo de um ano, para abranger o verão, o inverno e os meses de meia estação;
- Complementar o estudo em questão com um estudo higrotérmico centrado no valor da humidade relativa do ar interior em todos os compartimentos da moradia;
- Existindo a possibilidade de comércio na zona de serviço da moradia, considerada uma zona não útil neste estudo, tornar-se-ia vantajoso realizar um estudo de reabilitação à luz do Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço (RECS);
- Criar uma ferramenta de simulação que permita a realização de um estudo de reabilitação energética.

8. Bibliografia

- Abrantes, J. B. C. (2012). "Implicações do Conforto Térmico no Consumo Energético – Uma Hipótese de Modelo Adaptativo Aplicada ao Verão". Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - Perfil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Pp. 142.
- Afonso, J. F. S. (2009). "Estudo do Comportamento Térmico de Edifícios Antigos - Um caso de estudo". Dissertação apresentada para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil - Reabilitação de Edifícios. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Pp. 106.
- Ahern, C., Griffiths, P., & Flaherty, M. (2013). "State of the Irish housing stock—Modelling the heat losses of Ireland's existing detached rural housing stock & estimating the benefit of thermal retrofit measures on this stock". *Energy Policy* 55 (2013). Pp. 139–151.
- Almeida, M., Bragança, L., Silva, P., Silva, S., Mateus, R., Barbosa, J., & Araújo, C. (2012). "Seminário - Reabilitação Energética de Edifícios". Livro de Atas: Guimarães, 28 de Setembro de 2012. Universidade do Minho. ISBN: 978-989-96543-6-5. Pp. 162, p. 1-2.
- Alves, H. F. N. (2011). *Eficiência Energética em Edifícios da Lipor I*. Dissertação submetida para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente - Ramo de Projecto. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Pp. 105.
- Anastácio, S. S. (2010). "Reabilitação energética em edifícios de habitação existente: um caso de estudo da Zona J". Tese de Mestrado em Arquitectura. ISCTE- Instituto Universitário de Lisboa. Pp. 95.
- APA. (2012). "Avaliação do cumprimento do Protocolo de Quioto". Agência Portuguesa do Ambiente (APA), Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas. Amadora. Pp. 15.
- AutoDesk. (2015). "Education: Downloads - Autocad". Disponível online: <http://www.autodesk.com/education/free-software/autocad>. Acedido a 26 de Junho, 2015.
- Barbosa, J. A., & Bragança, L. (2012). "Contabilizando a reabilitação na avaliação de sustentabilidade de edifícios de serviços". Seminário Reabilitação Energética de Edifícios. Universidade do Minho. Pp. 93-102.
- Beccali, M., Cellura, M., Fontana, M., Longo, S., & Mistretta, M. (2013). "Energy retrofit of a single-family house: Life cycle net energy saving and environmental benefits". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 27 (2013). Pp. 283 - 293.

- CEEETA. (2001). "Tecnologias de Micro-Geração e Sistemas Periféricos. Cap. 5 - Micro-Turbinas Eólicas". Centro de Estudos em Economia da Energia, dos Transportes e do Ambiente (CEEETA). Dezembro de 2001. Pp. 42-47.
- Comunidades Europeias. (2002). Directiva 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002. Jornal Oficial das Comunidades Europeias, L 1/65 - L1/71.
- Costa, R. J. G., Bragança, L., Mateus, R., & Bezerra, J. C. (2014). "Reabilitação sustentável de edifícios antigos – Contribuição para os edifícios de balanço energético nulo (nZEB) e otimização do nível de sustentabilidade". Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil. Guimarães, Portugal. Pp. 65-80.
- Cota, S. M. A. (2014). "Análise Energética de um Edifício Público". Relatório Final da Dissertação apresentado à Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança, para obtenção do grau de Mestre em Energias Renováveis e Eficiência Energética. Pp. 133, p. 1-2.
- Curado, A. J. C. (2014). "Conforto Térmico e Eficiência Energética nos Edifícios de Habitação Social Reabilitados". Tese submetida para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Pp. 298.
- CYPE. (2015). "CYPE - Software para Engenharia e Construção". Disponível online: <http://www.cype.pt/>. Acedido a 28 de Setembro, 2015.
- DGEG. (2015). "Estratégia para a Eficiência Energética nos Edifícios Públicos". Lisboa, LNEG. Pp. 1 - 43.
- DGGE. (2004). "Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais". Disponível online: http://eficiencia-energetica.com/images/upload/Reabilitacao_energetica.pdf. Acedido a 16 de Outubro, 2014.
- Dinis, R. S. C. (2010). "Contributos para a Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação". Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Pp. 112.
- Durão, C. O. (2013). "Reabilitação Sustentável: Introdução de Metodologias e Estratégias Sustentáveis". Projeto para a obtenção de Grau de Mestre em Arquitetura de Interiores. Universidade Técnica de Lisboa. Pp. 103.
- Energua. (2013). *Guia de Eficiência Energética nos Edifícios* (Engenho e Media Lda. ed.).
- EnergyPlus. (2013). "Input Output Reference - The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output". EnergyPlus, US Department of Energy, California. Pp. 1 - 2206.
- EnergyPlus. (2015). EnergyPlus - Documentation. Disponível online: <https://energyplus.net/documentation>. Acedido a 23 de outubro, 2015.
- Ferreira, J. D. L. (2012). "Análise de Sensibilidade de Factores de Desempenho Térmico de Edifícios" Dissertação para obtenção do grau de mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa. Pp. 103.
- Ferreira, M. A. M. A. (2009). *A eficiência energética na reabilitação de edifícios*. Dissertação apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do

- Ambiente, perfil Gestão e Sistemas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Pp. 178.
- Freitas, S. S. A. (2008). "Dimensionamento de sistemas fotovoltaicos". Relatório de Projeto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Industrial Ramo Engenharia Electrotécnica. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Bragança. Pp. 104.
- Guerra, J. P. P. (2013). "A Sustentabilidade aplicada ao Projecto de Reabilitação de Edifícios - Um Caso de Estudo". Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitectura. Universidade da Beira Interior, Covilhã. Pp. 126.
- Imessad, K., Derradji, L., Messaoudene, N., Mokhtari, F., Chenak, A., & Kharchi, R. (2014). "Impact of passive cooling techniques on energy demand for residential buildings in a Mediterranean climate". *Renewable Energy* 71 (2014), Pp. 589-597.
- ITeCons. (2011). "Paredes". ITeCons - Instituto de Investigação e Desenvolvimento Tecnológico em Ciências de Construção. Disponível online: <http://www.itecons.uc.pt/catalogoptl/index.php?module=nivs&id=7>. Acedido a 21 de Setembro, 2015.
- Jardim, F. M. G. (2009). "Proposta de Intervenção de Reabilitação Energética de Edifícios de Habitação". Tese de Mestrado em Engenharia Civil Materiais, Reabilitação e Sustentabilidade da Construção. Universidade do Minho. Pp. 260.
- LabEEE. (2013). "Manual de Simulação Computacional de Edifícios Naturalmente Ventilados no Programa EnergyPlus - Versão 8.0". Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico - Departamento de Engenharia Civil, Campus Universitário – Trindade, Florianópolis. Pp. 1- 56.
- Lopes, T. F. C. T. (2010). "Reabilitação Sustentável de Edifícios de Habitação". Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil - perfil de Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Pp. 171.
- Machado, M. N. Q. B. R. (2012). "Influência de Regimes variáveis de Ventilação e Aquecimento no Comportamento Higrotérmico de Edifícios de habitação social". Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Pp. 116.
- Marcos, A. J. V. (2013). "Vãos Envidraçados em Edifícios de Habitação: Otimização, Eficiência Energética e Análise Económica" Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Pp. 190, p. 71.
- Martins, R. M. D. R. S. (2014). "Aumento da eficiência e desempenho energético no processo de reabilitação de edifícios de habitação". Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil Construção. Faculdade de Ciencia e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Pp. 148.
- Mascarenhas, J. (2014). "*Sistemas de Construção XIV - Construção e Reabilitação Sustentáveis*" (L. Horizonte Ed.).

- OpenStudio. (2015). "Legacy OpenStudio Plug-in". Disponível online: <https://www.openstudio.net/downloads>. Acedido a 24 de Fevereiro, 2015.
- Pardo, N., & Thiel, C. (2012). "Evaluation of several measures to improve the energy efficiency and CO₂ emission in the European single-family houses". *Energy and Buildings* 49 (2012). Pp. 619–630.
- Pavineiva. (2006). "Documento de Homologação". Pavineiva, Pavimentos Aligierados de Vigotas Prefabricadas de Betão Pré-Esforçado. Ministério das Obras Publicas, Transportes e Comunicações. DH 862. Pp. 1 - 20.
- Pereira, H. A. C., Melo, A. P., Versage, R., Sorgato, M., & Lamberts, R. (2013). Manual de Simulação Computacional de Edifícios naturalmente ventilados no programa EnergyPlus – Versão 8.0. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) Disponível online: http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/Manual_Ventilacao_v8_0.pdf. Acedido a 12 de Outubro, 2015.
- PRECERAM. (2014). "Tijolo Tradicional". Disponível online: <http://www.preceram.pt/tradicional.php>. Acedido a 24 de setembro, 2015.
- RCCTE. (1990). "Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios". Diário da República, I Série nº 31, Decreto-Lei nº 40/1990, Fevereiro, Lisboa, 1990.
- REH. (2013). "Regulamento de Desempenho Energético de Edifícios de Habitação". Diário da República, I Série - A, Decreto-Lei nº 118/2013, Agosto, Lisboa, 2013.
- Rodrigues, A. M., Piedade, A. C., & Braga, A. M. (2009). "Térmica de Edifícios". Edições Orion (1ª Edição). Amadora. ISBN: 978-972-8620-13-4. Pp. 633.
- Rosas, J. P. N. (2008). "Metodologia da Fiscalização de Obras - Planos de Controlo de Conformidade de Vãos Exteriores". Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções Civas. Pp. 194, p. 24.
- RSECE. (2006). "Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização nos Edifícios". Diário da República, I Série - A, Decreto-Lei nº 79/2006, Abril, Lisboa, 2006.
- Santos, J. B. (2013). "Análise e Controlo de Sistemas de Aquecimento Residenciais". Tese de Mestrado apresentada para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Eletrotécnica - Energia e Automação Industrial. Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Instituto Politécnico de Viseu. Pp. 112.
- SCE. (2006). "Sistema de Certificação Energética". Diário da República, I Série - A, Decreto-Lei nº 78/2006, Abril, Lisboa, 2006.
- Silva, D. A. G. (2014). "Reabilitação energética de edifícios face à nova regulamentação". Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. Pp. 149.
- Silva, P. C. P. (2006). "Capítulo 3 - Térmica dos Edifícios". Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Universidade do Minho - Escola de Engenharia, Departamento de Engenharia Civil. Pp. 23-70.

- Silva, P. M. A. (2010). "Aplicação do Programa EnergyPlus como Ferramenta do Projeto de Comportamento Térmico de Edifícios de Habitação". Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil - Especialização em Construções. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Pp. 153.
- Silva, V. P. P. (2013). "Reabilitação Energética de Edifícios Residenciais: Propostas de intervenção numa perspectiva de otimização da relação custo/benefício". Tese apresentada para obtenção do grau de Mestre em Construção e Reabilitação Sustentáveis. Escola de Engenharia, Universidade do Minho. Pp. 210.
- Silva(a), M. T. M. T. d. (2012). "Reabilitação Sustentável: Adaptação conceptual de um edifício do século XIX do centro do Porto". Tese de Mestrado em Design - Especialização em Design de Interiores. Escola Superior de Artes e Design. Pp. 102.
- Silva(b), J. C. M. L. (2012). "Reabilitação térmica de edifícios residenciais: propostas de intervenção". Trabalho Final de Mestrado para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. Pp. 112.
- Sousa, J., Silva, S., & Almeida, M. (2012). "Enquadramento Energético do Sector Residencial Português". Seminário Reabilitação Energética de Edifícios. Universidade do Minho, Guimarães. Pp. 49-56.
- Souza, L. C. (2009). "Avaliação Termo-Energética segundo critérios de prédios verdes". Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico. Pp. 33.
- T&D Corporation. (2015). "RTR-500 Series - Wireless Data Logging System". Disponível online: <http://www.tandd.com/product/rtr500x/index.html>. Acedido a 25 de setembro, 2015.
- Trimble. (2015). "SketchUp". Disponível online: <http://www.sketchup.com/products/sketchup-make>. Acedido a 24 de Fevereiro, 2015.
- União Europeia. (2006). Directiva 2006/32/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 5 de Abril de 2006. Jornal Oficial da União Europeia, L 114/64 - L 114/85.
- União Europeia. (2010). Directiva 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho de 19 de Maio de 2010. Jornal Oficial da União Europeia, L 153/13.
- União Europeia. (2015). Acordos Internacionais - Decisão (UE) 2015/1339 do Conselho de 13 de julho de 2015. Jornal Oficial da União Europeia, L 207/1 - L207/75. .
- Yang, L., Yan, H., & Lam, J. C. (2014). "Thermal comfort and building energy consumption implications – A review". Applied Energy 115 (2014). Pp. 164–173.

9. ANEXOS

I. Folhas de Cálculo do REH

FICHA n.º 1 REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Câmara Municipal de _____

Edifício

Empreendimento: _____ Nº de frações: 1

Morada: _____

Freguesia: _____ Concelho: _____

Tipo de intervenção

Edifício novo: X

Grande intervenção:

Caracterização

Fração	Área interior útil de pavimento (m²)	Pé direito médio ponderado (m)	Tipologia
Moradia Unifamiliar	146.83	2.52	T4

Resumo de cálculo

Fração	Tx. ren. (RPH,i)	Tx. ren. (RPH,v)	Nic (kWh/m².ano)	Ni (kWh/m².ano)	Nvc (kWh/m².ano)	Nv (kWh/m².ano)	QA (kWh/m².ano)	QAREF (kWh/m².ano)	Ntc (kWh/m².ano)	Nt (kWh/m².ano)	Eren,p (*) (kWh/ano)	Eren,ext (**) (kWh/ano)
Moradia Unifamiliar	0.40	0.60	56.48	49.07	8.41	10.51	18.21	20.24	196.63	185.32	0.00	0.00

(*) Correspondente à totalidade das formas de energias renováveis, destinadas a suprir necessidades relativas aos usos de aquecimento, arrefecimento, preparação de AQS e ventilação.

(**) Correspondente à energia renovável que é exportada do edifício e/ou consumida em outros usos não incluídos em Eren,p.

Técnico responsável pelo projeto de comportamento térmico

Nome: _____

Inscrito na: Ordem dos Engenheiros Número de inscrição: _____

Assinatura

REH - Fichas de cálculo
REGULAMENTO DE DESEMPENHO ENERGÉTICO DOS EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO (REH).

Ficha de cálculo A
 TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

A.1 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rés-do-Chão: Norte, Sul e Este)	50.52	0.70	35.36
Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)	12.23	1.10	13.45
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	47.94	0.53	25.41
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	33.27	1.62	53.90
TOTAL			128.12
Pavimentos em contacto com o exterior (Inverno)	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Pavimento em contacto com exterior (sótão)	9.66	1.38	13.33
TOTAL			13.33
Pavimentos em contacto com o exterior (Verão)	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Pavimento em contacto com exterior (sótão)	9.66	1.52	14.68
TOTAL			14.68
Coberturas em contacto com o exterior (Inverno)	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Telha (Cobertura Inclinada)	77.82	0.68	52.92
TOTAL			52.92
Coberturas em contacto com o exterior (Verão)	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Telha (Cobertura Inclinada)	77.82	0.65	50.58
TOTAL			50.58
Vãos envidraçados exteriores	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Janela de 2 vidros duplos	5.83	1.80	10.49
Janela de vidro duplo de 20 mm	2.40	4.02	9.65
Janela de tijolo de vidro	0.32	3.01	0.96
Janela de vidro duplo de 20 mm	0.28	3.70	1.04
Janela de 2 vidros duplos	6.36	1.80	11.45
Janela de vidro duplo de 20 mm	0.55	3.50	1.93
Clarabóia de claraboias	1.08	3.20	3.46
TOTAL			38.98

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	$\psi \cdot B$ W/°C
Fachada com pavimentos térreos	19.38	0.80	15.50
Fachada com pavimentos térreos	1.96	0.50	0.98
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	9.52	0.50	4.76
Fachada com pavimento de nível intermédio	72.36	0.50	36.18
Duas paredes verticais em ângulo saliente	24.84	0.50	12.42
Fachada com caixilharia	51.78	0.25	12.95
TOTAL			82.79

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior $H_{\text{ext},i}$ 316.14 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior $H_{\text{ext},v}$ 315.15 W/°C

A.2 - ENVOLVENTE INTERIOR

Paredes em contacto com espaços não úteis	Área A m²	U W/m²°C	b_{tr}	$U \cdot A \cdot b_{tr}$ W/°C
Parede Interior com T15	9.04	1.41	0.90	11.47
Parede interior com Pedra e T7	6.79	1.09	0.90	6.66
TOTAL				18.13

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	b_{tr}	$\psi \cdot B \cdot b_{tr}$ W/°C
Fachada com pavimentos térreos	5.88	0.50	1.00	2.94
TOTAL				2.94

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior $H_{\text{enu}} + H_{\text{adj}}$ 21.07 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior H_{enu} 21.07 W/°C

A.3 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos térreos	Área A m²	U_{bf} W/m²°C	$U_{bf} \cdot A$ W/°C
Pavimento do Rés-do-Chão	9.89	0.82	8.11
Pavimento do Rés-do-Chão	30.28	0.82	24.83
Pavimento do Rés-do-Chão	5.88	0.82	4.82
TOTAL			37.76

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} 37.76 W/°C

A.4 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior $H_{\text{ext},i}$ 316.14 W/°C
+

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior } H_{\text{enu}} + H_{\text{adj}} \boxed{21.07} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad + \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo } H_{\text{ecs}} \boxed{37.76} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad = \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{\text{tr,i}} \boxed{374.97} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad + \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior } H_{\text{ext,v}} \boxed{315.15} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad + \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior } H_{\text{enu}} \boxed{21.07} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad + \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo } H_{\text{ecs}} \boxed{37.76} \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad = \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{\text{tr,v}} \boxed{373.98} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO DE REFERÊNCIA

A.5 - ENVOLVENTE EXTERIOR

Paredes exteriores	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rés-do-Chão: Norte, Sul e Este)	50.52	0.50	25.26
Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)	12.23	0.50	6.12
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	47.94	0.50	23.97
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	33.27	0.50	16.64
TOTAL			71.99

Pavimentos em contacto com o exterior	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Pavimento em contacto com exterior (sótão)	9.66	0.40	3.86
TOTAL			3.86

Coberturas em contacto com o exterior	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Telha (Cobertura Inclinada)	77.82	0.40	31.13
TOTAL			31.13

Vãos envidraçados exteriores	Área A m ²	U W/m ² °C	U·A W/°C
Janela de 2 vidros duplos	5.83	2.90	16.91
Janela de vidro duplo de 20 mm	2.40	2.90	6.96
Janela de tijolo de vidro	0.32	2.90	0.93
Janela de vidro duplo de 20 mm	0.28	2.90	0.81
Janela de 2 vidros duplos	6.36	2.90	18.44
Janela de vidro duplo de 20 mm	0.55	2.90	1.60
Clarabóia de claraboias	1.08	2.90	3.13
TOTAL			48.78

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	$\psi \cdot B$ W/°C
Fachada com pavimentos térreos	19.38	0.50	9.69
Fachada com pavimentos térreos	1.96	0.50	0.98
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	9.52	0.50	4.76
Fachada com pavimento de nível intermédio	72.36	0.50	36.18
Duas paredes verticais em ângulo saliente	24.84	0.40	9.94
Fachada com caixilharia	51.78	0.20	10.36
TOTAL			71.91

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente exterior H_{ext} 227.67 W/°C

A.6 - ENVOLVENTE INTERIOR

Paredes em contacto com espaços não úteis	Área A m²	U W/m²°C	b_{tr}	$U \cdot A \cdot b_{tr}$ W/°C
Parede Interior com T15	9.04	0.50	0.90	4.07
Parede interior com Pedra e T7	6.79	0.50	0.90	3.06
TOTAL				7.13

Pontes térmicas lineares	Comp. B m	ψ W/m°C	b_{tr}	$\psi \cdot B \cdot b_{tr}$ W/°C
Fachada com pavimentos térreos	5.88	0.50	1.00	2.94
TOTAL				2.94

Coeficiente de transferência de calor por transmissão pela envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ 10.07 W/°C

A.7 - ELEMENTOS EM CONTACTO COM O SOLO

Pavimentos térreos	Área A m²	U_{bf} W/m²°C	$U_{bf} \cdot A$ W/°C
Pavimento do Rés-do-Chão	9.89	0.50	4.95
Pavimento do Rés-do-Chão	30.28	0.50	15.14
Pavimento do Rés-do-Chão	5.88	0.50	2.94
TOTAL			23.03

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} 23.03 W/°C

A.8 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente exterior H_{ext} 227.67 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor através da envolvente interior $H_{enu} + H_{adj}$ 10.07 W/°C

+

Coeficiente de transferência de calor por elementos em contacto com o solo H_{ecs} 23.03 W/°C

=

Coeficiente de transferência de calor por transmissão $H_{tr,i}$ 260.77 W/°C

Ficha de cálculo B
TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO

B.1 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0,34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i} & \boxed{0.40} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{146.83} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.52} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i} & \boxed{50.32} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

B.2 - ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0,34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,v} & \boxed{0.60} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{146.83} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.52} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,v} & \boxed{75.48} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR VENTILAÇÃO DE REFERÊNCIA

B.3 - ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & 0,34 \\
 & \times \\
 \text{Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento } R_{ph,i \text{ REF}} & \boxed{0.40} \text{ h}^{-1} \\
 & \times \\
 \text{Área útil de pavimento } A_p & \boxed{146.83} \text{ m}^2 \\
 & \times \\
 \text{Pé direito médio da fração } P_d & \boxed{2.52} \text{ m} \\
 & = \\
 \text{Coeficiente de transferência de calor por ventilação } H_{ve,i \text{ REF}} & \boxed{50.32} \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Ficha de cálculo C
GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO
C.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Fator solar de inverno g_i	Área A_w (m ²)	Fator de obstrução $F_{s,i}=F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Fração envidraçada F_g	Fator de sel. angular $F_{w,i}$	Área efetiva colectora $A_s=A_w \cdot F_{s,i} \cdot F_g \cdot g_i$ (m ²)	Fator de orientação X	Área efetiva colectora a sul $X \cdot A_s$ (m ²)
Janela de 2 vidros duplos	S	0.48	2.92	0.33	0.70	0.90	0.32	1.00	0.32
Janela de 2 vidros duplos	S	0.48	2.92	0.35	0.70	0.90	0.34	1.00	0.34
Janela de vidro duplo de 20 mm	E	0.63	2.40	0.47	0.45	0.90	0.32	0.56	0.18
Janela de tijolo de vidro	N	0.51	0.32	0.90	0.90	0.90	0.13	0.27	0.04
Janela de vidro duplo de 20 mm	N	0.63	0.28	0.90	0.60	0.90	0.10	0.27	0.03
Janela de 2 vidros duplos	W	0.48	2.12	0.50	0.70	0.90	0.36	0.56	0.20
Janela de 2 vidros duplos	E	0.48	4.24	0.37	0.70	0.90	0.53	0.56	0.38
Janela de vidro duplo de 20 mm	W	0.63	0.55	0.44	0.70	0.90	0.11	0.56	0.07
Clarabóia de claraboias	Horizontal	0.68	1.08	0.56	0.70	0.90	0.29	0.89	0.26
TOTAL									1.82

Área efetiva total equivalente na orientação a sul 1.82 m²

x
 Radiação média incidente num envidraçado vertical a sul G_{sul} 130.00 kWh/m².mês

x
 Duração de aquecimento M 6.95 meses

=
 Ganhos solares brutos $Q_{sol,i}$ 1644.37 kWh/ano

C.2 - GANHOS INTERNOS

0,72
 x
 Ganhos internos médios q_{int} 4.00 W/m²
 x
 Duração de aquecimento M 6.95 meses
 x
 Área útil de pavimento A_p 146.83 m²
 =
 Ganhos internos brutos Q_i 2938.95 kWh/ano

C.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i} \boxed{2938.95} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i} \boxed{1644.37} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} \boxed{4583.32} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO DE REFERÊNCIA

C.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS DE REFERÊNCIA NA ESTAÇÃO DE AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Ganhos internos brutos } Q_{\text{int},i \text{ REF}} \boxed{2938.95} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Ganhos solares brutos } Q_{\text{sol},i \text{ REF}} \boxed{694.80} \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i \text{ REF}} \boxed{3633.75} \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

Ficha de cálculo D GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO

D.1 - GANHOS SOLARES

Designação do envidraçado	Orientação	Área (m ²)	Tipo de vidro	Fração envidraçada F_g	Fator de sel. angular $F_{w,v}$	Fator solar de verão $g_v = F_{mv} \cdot g_T + (1 - F_{mv}) \cdot g_{Tp}$	Área efetiva $A_s = A_w \cdot F_g \cdot g_v$ (m ²)	Fator de obstrução $F_{s,v} = F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Intensidade da radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$Q_{\text{sol}} = I_{\text{sol}} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ kWh/ano
Janela de 2 vidros duplos	S	2.92	Duplo	0.70	0.75	0.40	0.82	0.64	425.00	223.04
Janela de 2 vidros duplos	S	2.92	Duplo	0.70	0.75	0.40	0.82	0.70	425.00	243.95
Janela de vidro duplo de 20 mm	E	2.40	Duplo	0.45	0.85	0.60	0.65	0.77	475.00	237.74
Janela de tijolo de vidro	N	0.32	Duplo	0.90	0.80	0.46	0.13	0.90	220.00	25.74
Janela de vidro duplo de 20 mm	N	0.28	Duplo	0.60	0.80	0.56	0.09	0.90	220.00	17.82
Janela de 2 vidros duplos	W	2.12	Duplo	0.70	0.85	0.45	0.67	0.86	475.00	273.70
Janela de 2 vidros duplos	E	4.24	Duplo	0.70	0.85	0.45	1.34	0.57	475.00	362.81
Janela de vidro duplo de 20 mm	W	0.55	Duplo	0.70	0.85	0.60	0.23	0.72	475.00	78.66
Clarabóia de claraboias	Horizontal	1.08	Simples	0.70	0.90	0.68	0.51	1.00	785.00	400.35
TOTAL										1863.81

Referência	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} (m ²)	U (W/(m ² .°C))	R_{se} (m ² °C/W)	Área efetiva $A_s = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ (m ²)	Fator de obstrução $F_{s,v} = F_h \cdot F_o \cdot F_r$	Intensidade da radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$Q_{\text{sol}} = I_{\text{sol}} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ kWh/ano (kcal)
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rés-do-Chão: Norte, Sul e Este)	S	0.40	17.97	0.70	0.04	0.20	0.96	425.00	81.60
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rés-do-Chão: Norte, Sul e Este)	E	0.40	13.94	0.70	0.04	0.16	0.82	475.00	62.32
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rés-do-Chão: Norte, Sul e Este)	N	0.40	14.63	0.70	0.04	0.16	1.00	220.00	35.20
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rés-do-Chão: Norte, Sul e Este)	N	0.40	3.98	0.70	0.04	0.04	1.00	220.00	8.80
Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)	N	0.40	4.96	1.10	0.04	0.09	1.00	220.00	19.80
Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)	N	0.40	4.87	1.10	0.04	0.09	0.99	220.00	19.60
Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)	N	0.40	2.40	1.10	0.04	0.04	0.94	220.00	8.27
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	S	0.40	15.78	0.53	0.04	0.13	0.90	425.00	49.73
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	W	0.40	5.62	0.53	0.04	0.05	0.95	475.00	22.56
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	E	0.40	10.81	0.53	0.04	0.09	0.61	475.00	26.08
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	N	0.40	9.20	0.53	0.04	0.08	1.00	220.00	17.60
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	W	0.40	6.53	0.53	0.04	0.06	0.94	475.00	26.79
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	S	0.40	10.70	1.62	0.04	0.28	0.52	425.00	61.88
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	E	0.40	7.12	1.62	0.04	0.18	0.58	475.00	49.59

Referência	Orientação	Coefficiente de absorção α	Área A_{op} (m ²)	U (W/(m ² .°C))	R _{se} (m ² °C/W)	Área efetiva $A_s = \alpha \cdot U \cdot A_{op} \cdot R_{se}$ (m ²)	Fator de obstrução $F_{s,v} = F_h \cdot F_o \cdot F_f$	Intensidade da radiação I_{sol} kWh/m ² .ano	$Q_{sol} = I_{sol} \cdot F_{s,v} \cdot A_s$ kWh/ano (kcal)
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	W	0.40	6.99	1.62	0.04	0.18	0.60	475.00	51.30
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	N	0.40	8.47	1.62	0.04	0.22	0.94	220.00	45.50
Pavimento em contacto com exterior (sótão)	Horizontal	0.40	9.66	1.52	0.04	0.23	1.00	785.00	180.55
Telha (Cobertura Inclínada)	Horizontal	0.50	77.82	0.65	0.04	1.01	1.00	785.00	792.85
TOTAL									1560.02

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente envidraçada 1863.81 kWh/ano

+

Ganhos solares brutos pelos elementos da envolvente opaca 1560.02 kWh/ano

=

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ 3423.83 kWh/ano

D.2 - GANHOS INTERNOS

Ganhos internos médios q_{int} 4.00 W/m²

x

Duração de arrefecimento L_v 2928.00 Horas

x

Área útil de pavimento A_p 146.83 m²

÷

1000

=

Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ 1719.67 kWh/ano

D.3 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos brutos $Q_{int,v}$ 1719.67 kWh/ano

+

Ganhos solares brutos $Q_{sol,v}$ 3423.83 kWh/ano

=

Ganhos térmicos brutos $Q_{q,v}$ 5143.50 kWh/ano

GANHOS TÉRMICOS BRUTOS NA ESTAÇÃO DE ARREFECIMENTO DE REFERÊNCIA

D.4 - GANHOS TÉRMICOS BRUTOS

Ganhos internos médios q_{int} 4.00 W/m²

x

Duração de arrefecimento L_v 2928.00 Horas

÷

1000

+

Fator solar de verão de referência $g_{v, REF}$ 0.43

x

$A_w/A_{p, REF}$ 0.20

x

Radiação solar média de referência $I_{sol, REF}$ 475.00 kWh/m².ano

=

52.56 kWh/m².ano

x

$$\text{Área útil de pavimento } A_p = 146.83 \text{ m}^2$$

$$\text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v \text{ REF}} = 7717.38 \text{ kWh/ano}$$

Ficha de cálculo E
NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.1 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD &= 1257.00 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr} &= 374.97 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} &= 11312.09 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned} & 0,024 \\ & \times \\ \text{Número de graus-dias de aquecimento } GD &= 1257.00 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\ & \times \\ \text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve,i} &= 50.32 \text{ W/}^\circ\text{C} \\ & = \\ \text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} &= 1518.05 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.3 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

$$\begin{aligned} \text{Inércia térmica da fração} &= \text{Forte} \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} &= 4583.32 \text{ kWh/ano} \\ & \div \\ \text{Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar } Q_{tr,i} + Q_{ve,i} &= 12830.14 \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Parâmetro } \gamma_i &= 0.36 \\ & \\ \text{Parâmetro } a_i &= 4.20 \\ & \\ \text{Fator de utilização de ganhos } \eta_i &= 0.99 \\ & \times \\ \text{Ganhos térmicos brutos } Q_{g,i} &= 4583.32 \text{ kWh/ano} \\ & = \\ \text{Ganhos totais úteis } Q_{gu,i} &= 4537.49 \text{ kWh/ano} \end{aligned}$$

E.4 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

$$\begin{aligned}
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i} \quad 11312.09 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad + \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i} \quad 1518.05 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad - \\
 &\text{Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento } Q_{gu,i} \quad 4537.49 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades anuais na estação de aquecimento} \quad 8292.65 \text{ kWh/ano} \\
 &\quad \div \\
 &\text{Área útil de pavimento } A_p \quad 146.83 \text{ m}^2 \\
 &\quad = \\
 &\text{Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento } N_{ic} \quad 56.48 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

LIMITE MÁXIMO DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

E.5 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

$$\begin{aligned}
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por transmissão } H_{tr \text{ REF}} \quad 260.77 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad + \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar } H_{ve,I \text{ REF}} \quad 50.32 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad = \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{t,I \text{ REF}} \quad 311.09 \text{ W/}^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

E.6 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

$$\begin{aligned}
 &\quad 0,024 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1257.00 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{tr \text{ REF}} \quad 260.77 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad = \\
 &\text{Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento } Q_{tr,i \text{ REF}} \quad 7866.91 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.7 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

$$\begin{aligned}
 &\quad 0,024 \\
 &\quad \times \\
 &\text{Número de graus-dias de aquecimento } GD \quad 1257.00 \text{ }^\circ\text{C.dias} \\
 &\quad \times \\
 &\text{Coeficiente de transferência de calor } H_{ve,I \text{ REF}} \quad 50.32 \text{ W/}^\circ\text{C} \\
 &\quad = \\
 &\text{Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento } Q_{ve,i \text{ REF}} \quad 1518.05 \text{ kWh/ano}
 \end{aligned}$$

E.8 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Fator de utilização de ganhos $\eta_{i, REF}$ 0.60

Ganhos térmicos brutos $Q_{q,i, REF}$ 3633.75 kWh/ano

Ganhos totais úteis $Q_{gu,i, REF}$ 2180.25 kWh/ano

E.9 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA AQUECIMENTO

Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento $Q_{tr,i, REF}$ 7866.91 kWh/ano

Transferência de calor por renovação do ar na estação de aquecimento $Q_{ve,i, REF}$ 1518.05 kWh/ano

Ganhos de calor úteis na estação de aquecimento $Q_{gu,i, REF}$ 2180.25 kWh/ano

Necessidades anuais na estação de aquecimento 7204.71 kWh/ano

Área útil de pavimento A_p 146.83 m²

Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento N_i 49.07 kWh/m².ano

Ficha de cálculo F NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.1 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR

Coeficiente de transferência de calor por transmissão H_{tr} 373.98 W/°C

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ 75.48 W/°C

Coeficiente de transferência de calor $H_{t,v}$ 449.46 W/°C

F.2 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR TRANSMISSÃO

Transferência de calor por transmissão H_{tr} 373.98 W/°C

$(\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext})$ 3.51 °C

Duração de arrefecimento L_v 2928.00 Horas

Transferência de calor por transmissão na estação de arrefecimento $Q_{tr,v}$ 3843.50 kWh/ano

F.3 - TRANSFERÊNCIA DE CALOR POR RENOVAÇÃO DO AR

Coeficiente de transferência de calor por renovação do ar $H_{ve,v}$ W/°C

\times
 $(\theta_{v,ref}-\theta_{v,ext})$ °C

\times
 Duração de arrefecimento L_v Horas

\div

1000

=

Transferência de calor por renovação do ar na estação de arrefecimento $Q_{ve,v}$ kWh/ano

F.4 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS

Inércia térmica da fração

Ganhos térmicos brutos $Q_{g,v}$ kWh/ano

\div

Transferência de calor por transmissão e por renovação do ar $Q_{tr,v} + Q_{ve,v}$ kWh/ano

=

Parâmetro γ_v

Parâmetro a_v

Fator de utilização de ganhos η_v

F.5 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$(1-\eta_v)$

\times

Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento $Q_{g,v}$ kWh/ano

\div

Área útil de pavimento A_p m²

=

Necessidades anuais de energia útil para arrefecimento N_{vc} kWh/m².ano

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

F.6 - FATOR DE UTILIZAÇÃO DE GANHOS DE REFERÊNCIA

$\theta_{REF,v}$ °C

-

$\theta_{ext,v}$ °C

=

$\Delta\theta$ °C

Fator de utilização de ganhos $\eta_{v REF}$

F.7 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA ARREFECIMENTO

$$\begin{aligned}
 & (1 - \eta_{v, REF}) \quad 0.20 \\
 & \times \\
 & \text{Ganhos de calor brutos na estação de arrefecimento } Q_{g,v, REF} \quad 7717.38 \text{ kWh/ano} \\
 & \div \\
 & \text{Área útil de pavimento } A_p \quad 146.83 \text{ m}^2 \\
 & = \\
 & \text{Limite das necessidades anuais de energia útil para arrefecimento } N_v \quad 10.51 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

Ficha de cálculo G NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.1 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_{uc} kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência nominal η_i	Fator de conversão f_{pui} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} / \eta_i$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_{uc} \cdot f_{pui} / \eta_i$ kWh _{EP} /m ² .ano
	Electricidade	56.48	1.00	1.00	2.50	8292.96	141.20
TOTAL							141.20

G.2 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_{vc} kWh/m ² .ano	f_v	Eficiência nominal η_v	Fator de conversão f_{puv} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_v \cdot \delta \cdot N_{vc} / \eta_v$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_v \cdot \delta \cdot N_{vc} \cdot f_{puv} / \eta_v$ kWh _{EP} /m ² .ano
	Electricidade	8.41	1.00	2.80	2.50	441.01	7.51
TOTAL							7.51

G.3 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

$$\begin{aligned}
 & 40 \\
 & \times \\
 & \text{n}^\circ \text{ convencional de ocupantes de cada fração } n \quad 5 \text{ ocupantes} \\
 & \times \\
 & \text{fator de eficiência hídrica } n \quad 0.90 \\
 & = \\
 & \text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \quad 180.00 \text{ l}
 \end{aligned}$$

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

$$\text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \quad 180.00 \text{ l}$$

$$\begin{aligned}
 & \times \\
 & 4187 \\
 & \times \\
 & \text{aumento de temperatura } \Delta T \quad 35.00 \text{ }^\circ\text{C} \\
 & \times \\
 & \text{n}^\circ \text{ de dias de consumo} \quad 365 \text{ dias} \\
 & \div \\
 & 3600000 \\
 & \div \\
 & A_p \quad 146.83 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS} \quad 18.21 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}$$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil Q_a / A_p kWh/m ² .ano	f_a	Eficiência nominal η_a	Fator de conversão F_{pua} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_a \cdot \delta \cdot Q_a / A_p / \eta_a$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta \cdot Q_a / A_p \cdot F_{pua} / \eta_a$ kWh _{EP} /m ² .ano
	Electricidade	18.21	1.00	0.95	2.50	2814.50	47.92
TOTAL							47.92

G.6 - NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\begin{aligned}
 &\text{Energia primária para aquecimento } 141.20 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 &+ \\
 &\text{Energia primária para arrefecimento } 7.51 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 &+ \\
 &\text{Energia primária para a preparação de AQS } 47.92 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 &+ \\
 &\text{Energia primária necessária para o sistema de ventilação mecânica } 0.00 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 &- \\
 &\text{Energia primária proveniente de sistemas com recurso a energia renovável } 0.00 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\
 &= \\
 &\text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_{tc} \text{ } 196.63 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

G.7 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA AQUECIMENTO

SISTEMA PARA AQUECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_u kWh/m ² .ano	f_i	Eficiência nominal $\eta_{i, REF}$	Fator de conversão f_{DUI} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_i \cdot \delta \cdot N_u / \eta_{i, REF}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_i \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{DUI} / \eta_{i, REF}$ kWh _{EP} /m ² .ano
	Electricidade	49.07	1.00	1.00	2.50	7204.95	122.68
TOTAL							122.68

G.8 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA ARREFECIMENTO

SISTEMA PARA ARREFECIMENTO	Fonte de energia	Necessidades de energia útil N_u kWh/m ² .ano	f_v	Eficiência nominal $\eta_{v, REF}$	Fator de conversão f_{DUV} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_v \cdot \delta \cdot N_u / \eta_{v, REF}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_v \cdot \delta \cdot N_u \cdot f_{DUV} / \eta_{v, REF}$ kWh _{EP} /m ² .ano
	Electricidade	10.51	1.00	2.80	2.50	551.14	9.38
TOTAL							9.38

G.9 - NECESSIDADES NOMINAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA PARA PRODUÇÃO DE AQS

CONSUMO DE AQS

$$\begin{aligned}
 &40 \\
 &\times \\
 &\text{n}^\circ \text{ convencional de ocupantes de cada fração } n \text{ } 5 \text{ ocupantes} \\
 &\times \\
 &\text{fator de eficiência hídrica } n \text{ } 1.00 \\
 &= \\
 &\text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \text{ } 200.00 \text{ l}
 \end{aligned}$$

NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS

$$\begin{aligned}
 &\text{consumo médio diário de referência } M_{AQS} \text{ } 200.00 \text{ l} \\
 &\times \\
 &4187 \\
 &\times \\
 &\text{aumento de temperatura } \Delta T \text{ } 35.00 \text{ } ^\circ\text{C} \\
 &\times \\
 &\text{n}^\circ \text{ de dias de consumo } 365 \text{ dias} \\
 &\div \\
 &3600000 \\
 &\div \\
 &A_p \text{ } 146.83 \text{ m}^2 \\
 &= \\
 &\text{NECESSIDADES ANUAIS DE ENERGIA ÚTIL PARA A PREPARAÇÃO DE AQS } 20.24 \text{ kWh/m}^2.\text{ano}
 \end{aligned}$$

SISTEMA PARA AQS	Fonte de energia	Necessidades de energia útil Q_a/A_p kWh/m ² .ano	f_a	Eficiência nominal $\eta_{a, REF}$	Fator de conversão F_{PUA} kWh _{EP} /kWh	Necessidades de energia final $f_a \cdot \delta \cdot Q_a / A_p / \eta_{a, REF}$ kWh/ano	Necessidades de energia primária $f_a \cdot \delta \cdot Q_a / A_p \cdot F_{PUA} / \eta_{a, REF}$ kWh _{EP} /m ² .ano
	Electricidade	20.24	1.00	0.95	2.50	3128.25	53.26
TOTAL							53.26

G.10 - LIMITE DAS NECESSIDADES NOMINAIS ANUAIS GLOBAIS DE ENERGIA PRIMÁRIA

$$\begin{aligned} &\text{Energia primária para aquecimento } 122.68 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\ &\quad + \\ &\text{Energia primária para arrefecimento } 9.38 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\ &\quad + \\ &\text{Energia primária para a preparação de AQS } 53.26 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \\ &\quad = \\ &\text{Necessidades nominais anuais globais de energia primária } N_t \text{ } 185.32 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2.\text{ano} \end{aligned}$$

DATA 13 de Outubro de 2015

CARGO Projetista	CARGO
NOME	NOME

II. Classe da Inércia Térmica

Fracção autónoma: Moradia Unifamiliar

Elemento da construção	M_{si} (kg/m ²)	S_i (m ²)	Factor de correcção (r)	$M_{si} \cdot r \cdot S_i$ (kg)
Paredes exteriores ou em contacto com o solo				
Parede Exterior com Pedra e XPS (Rês-do-Chão: Norte, Sul e Este)	112	50.52	1.00	5642.63
Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)	124	12.23	1.00	1512.03
Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)	112	47.94	1.00	5354.64
Paredes Exterior com T15 (Piso2)	87	33.27	1.00	2886.50
Coberturas				
Telha (Cobertura Inclínada)	150	77.82	1.00	11672.51
Pavimentos exteriores, de separação com espaços não úteis ou solo				
Pavimento do Rês-do-Chão	150	46.05	1.00	6907.49
Pavimento em contacto com exterior (sótão)	150	9.66	1.00	1449.31
Paredes entre fracções				
Parede Interior com T15	87	9.04	1.00	784.08
Parede interior com Pedra e T7	150	6.79	1.00	1018.03
Paredes e pavimentos interiores				
Pavimento entre Pisos	300	80.61	1.00	24183.37
Parede Interior com T15	174	41.90	1.00	7269.18
Parede Interior com T7	133	36.47	1.00	4860.37
Total				73540.14




/



Área útil de pavimento (m²) 146.8


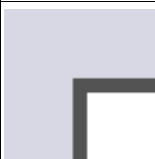
=

Massa superficial útil por m² de área de pavimento 500.85Classe de Inércia Térmica **FORTE**

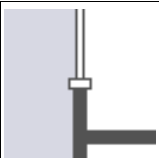
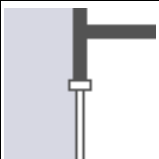
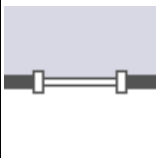
III. Descrição das Pontes Térmicas Lineares

Ligação de fachada com pavimento		Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
	Fachada com pavimentos térreos	19.38	0.80
	Fachada com pavimentos térreos Este tipo de ponte térmica não está contemplada pela norma. Neste caso, assume-se um valor por defeito para a transmitância linear.	7.85	0.50
	Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Este tipo de ponte térmica não está contemplada pela norma. Neste caso, assume-se um valor por defeito para a transmitância linear.	9.52	0.50

Ligação de fachada com laje intermédia		Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
	Fachada com pavimento de nível intermédio	37.48	0.50
	Fachada com pavimento de nível intermédio Este tipo de ponte térmica não está contemplada pela norma. Neste caso, assume-se um valor por defeito para a transmitância linear.	34.88	0.50

Ligação entre fachadas		Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
	Duas paredes verticais em ângulo saliente	15.18	0.50
	Duas paredes verticais em ângulo saliente Este tipo de ponte térmica não está contemplada pela norma. Neste caso, assume-se um valor por defeito para a transmitância linear.	9.66	0.50

Ligação entre fachadas		Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))
------------------------	--	--------------------	----------------------

	Fachada com caixilharia	11.64	0.25
	Fachada com caixilharia	11.64	0.25
	Fachada com caixilharia	28.50	0.25

IV. Cálculo do Fator de Redução segundo a Norma EN ISO 13789

Factor de redução

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

onde:

H_{iu} coeficiente de perda do espaço aquecido para o espaço não aquecido

H_{ue} coeficiente de perda do espaço não aquecido ao exterior

H_{iu} , H_{ue} incluem as perdas por transmissão e por renovação de ar

$$H_{iu} = L_{iu} + H_{V,iu}$$

$$H_{ue} = L_{ue} + H_{V,ue}$$

Sendo:

$$L_{iu} = L_{Diu} + L_{Siu}$$

$$L_{ue} = L_{Due} + L_{Sue}$$

onde:

$$L_D = \sum_i A_i U_i + \sum_k l_k \psi_k$$

Sendo:

A_i área do elemento 'i' do edifício (m²)

U_i coeficiente de transmissão térmica do elemento 'i' do edifício

l_k comprimento da ponte térmica linear 'k' (m)

Ψ_k coeficiente de transmissão térmica linear da ponte térmica 'k'

L_s coeficiente de perda pelo pavimento em regime estacionário, calculado segundo a norma EN ISO 13370 (W/°C)

$$H_{V,iu} = \rho c \dot{V}_{iu}$$

$$H_{V,ue} = \rho c \dot{V}_{ue}$$

onde:

ρ densidade do ar (kg/m³)

c capacidade calorífica específica do ar (J/(kg·°C))

ρc valor convencional para a capacidade calorífica do ar (1200 J/m³·K)

V_{ue} consumo de ar entre o espaço não aquecido e o exterior (m³/h)

V_{iu} consumo de ar entre o espaço aquecido e o não aquecido (m³/h)

Sendo:

onde:

V_u volume de ar no espaço não aquecido (m³)

n_{ue} taxa de renovação de ar convencional entre o espaço não aquecido e o exterior (h⁻¹)

Compartimento: Zona Não Util

Cálculo do coeficiente de acoplamento entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (L_{iu})

Paredes em contacto com espaços não aquecidos ou com edifícios adjacentes	Área (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	U·A (W/°C)
Parede Interior com T15	9.04	1.41	12.78
Parede interior com Pedra e T7	6.79	1.09	7.43
		TOTAL	20.21

Coeficiente de acoplamento entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (L_{iu}) (W/°C) 20.21

Cálculo do coeficiente de acoplamento entre o espaço não aquecido e o exterior (L_{ue})

Paredes em contacto com o exterior do espaço não aquecido	Área (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	U·A (W/°C)
Parede Exterior T15ArT11 (Rês-do-Chão: Serviço N e S)	9.97	0.92	9.18
Parede Exterior com Pedra e T11 (Rês-do-Chão: Zona Serviço Oeste e Sul)	22.60	1.63	36.88
		TOTAL	46.05

Pavimentos em contacto com o exterior do espaço não aquecido	Área (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	U·A (W/°C)
Pavimento do Rês-do-Chão	30.10	0.82	24.65
		TOTAL	24.65

Coberturas do espaço não aquecido em contacto com o exterior	Área (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	U·A (W/°C)
Cobertura Plana	30.10	0.68	20.45
		TOTAL	20.45

Aberturas do espaço não aquecido em contacto com o exterior	Área (m ²)	U (W/(m ² ·°C))	U·A (W/°C)
Janela de vidro duplo de 20 mm	5.58	3.50	19.56
Janela de vidro duplo de 20 mm	3.71	3.70	13.75
		TOTAL	33.31

Pontes térmicas lineares entre o espaço não aquecido e o exterior	Comprimento (m)	Ψ (W/(m·°C))	Ψ·l (W/°C)
Duas paredes verticais em ângulo saliente	13.76	0.50	6.88
Fachada com pavimentos térreos	21.45	0.50	10.73
Fachada com cobertura	14.93	0.50	7.47
		TOTAL	25.07

Coefficiente de acoplamento entre o espaço não aquecido e o exterior (L_{ue}) ($W/^\circ C$) 149.53

Cálculo das perdas por transmissão e por renovação de ar entre o espaço aquecido e o espaço não aquecido (H_{iu})

$H_{v,iu}$	0.00
	+
L_{iu}	20.21
	=
Perdas por transmissão e por renovação de ar (H_{iu}) ($W/^\circ C$)	20.21

Cálculo das perdas por transmissão e por renovação de ar entre o espaço não aquecido e o exterior (H_{ue})

$H_{v,ue}$ ($V_u = 84.09 \text{ m}^3$; $n_{ue} = 1.00h^{-1}$)	28.03
	+
L_{ue}	149.53
	=
Perdas por transmissão e por renovação de ar (H_{ue}) ($W/^\circ C$)	177.56

Factor de redução
= 0.90

V. Desempenho Energético

ÍNDICE

1.- MORADIA UNIFAMILIAR	—
1.1.- Requisitos energéticos	—
1.2.- Descrição de elementos	—
1.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica	—
1.3.- Envidraçados	—
1.4.- Climatização e AQS	—
1.5.- Energia renovável	—
1.6.- Ventilação	—
1.7.- Classificação energética	—
1.8.- Emissão de CO2	—

1.- MORADIA UNIFAMILIAR

1.1.- Requisitos energéticos

Necessidades nominais de energia útil para...	Valor calculado (kWh/m².ano)	Valor limite (kWh/m².ano)
Aquecimento	56.48	49.07
Arrefecimento	8.41	10.51
Preparação das águas quentes sanitárias	18.21	20.24
Energia	196.63	185.32

1.2.- Descrição de elementos

1.2.1.- Coeficientes de transmissão térmica

O REH estabelece, para a envolvente interior e exterior, valores máximos e de referência para os coeficientes de transmissão térmica (U). Os valores definidos para o coeficiente U dos elementos da envolvente são:

1.2.1.1.- Paredes

Referência: Parede Exterior com Pedra e XPS (Rês-do-Chão: Norte, Sul e Este)

Parede exterior dupla, de 45.0 cm, de cor clara, com isolamento na caixa de ar, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W; 2) xisto/ardósia com 27 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2.2 W/m°C e resistência térmica de 0.123 m²°C/W; 3) poliestireno extrudido (xps) com 3 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.037 W/m°C e resistência térmica de 0.811 m²°C/W; 4) tijolo cerâmico furado (11 cm) com 11 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.38 W/m°C e resistência térmica de 0.289 m²°C/W; 5) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.70 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m²°C

Referência: Parede Exterior com T15 e T11 (Caixa de Escadas)

Parede exterior simples, de 30.0 cm, de cor clara, sem isolamento, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W; 2) tijolo cerâmico furado (15 cm) com 15 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.36 W/m°C e resistência térmica de 0.417 m²°C/W; 3) tijolo cerâmico furado (11 cm) com 11 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.38 W/m°C e resistência térmica de 0.289 m²°C/W; 4) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.10 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m²°C

Referência: Parede Exterior com T15, Caixa de Ar, XPS e T11 (Piso1)

Parede exterior dupla, de 36.0 cm, de cor clara, com isolamento na caixa de ar, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W; 2) tijolo cerâmico furado (15 cm) com 15 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.36 W/m°C e resistência térmica de 0.417 m²°C/W; 3) caixa de ar não ventilada com 3 cm de espessura; 4) poliestireno extrudido (xps) com 3 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.037 W/m°C e resistência térmica de 0.811 m²°C/W; 5) tijolo cerâmico furado (11 cm) com 11 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.38 W/m°C e resistência térmica de 0.289 m²°C/W; 6) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.53 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m²°C

Referência: Paredes Exterior com T15 (Piso2)

Parede exterior simples, de 19.0 cm, de cor clara, sem isolamento, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W; 2) tijolo cerâmico furado (15 cm) com 15 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.36 W/m°C e resistência térmica de 0.417 m²°C/W; 3) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.62 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m²°C

Referência: Parede Interior com T15

Parede de separação com espaços interiores não aquecidos (Zona Não Util), simples, de 19.0 cm, sem isolamento, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W; 2) tijolo cerâmico furado (15 cm) com 15 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.36 W/m°C e resistência térmica de 0.417 m²°C/W; 3) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.41 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m²°C

Referência: Parede interior com Pedra e T7

Parede de separação com espaços interiores não aquecidos (Zona Não Util), simples, de 45.0 cm, sem isolamento, composta por: 1) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W; 2) tijolo cerâmico furado (7 cm) com 7 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.28 W/m°C e resistência térmica de 0.250 m²°C/W; 3) xisto/ardósia com 27 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 2.2 W/m°C e resistência térmica de 0.123 m²°C/W; 4) tijolo cerâmico furado (7 cm) com 7 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.28 W/m°C e resistência térmica de 0.250 m²°C/W; 5) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.09 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.75 W/m²°C

1.2.1.2.- Coberturas

Referência: Telha (Cobertura Inclinada)

Cobertura inclinada, de cor intermédia, composta por: 1) telha com 1 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.34 W/m°C e resistência térmica de 0.029 m²°C/W; 2) poliestireno extrudido (xps) com 3 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.037 W/m°C e resistência térmica de 0.811 m²°C/W; 3) p.a. base blocos > 0,3_furos=3_fluxoascendente (16 cm) com 16 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.34 W/m°C e resistência térmica de 0.471 m²°C/W; 4) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 0.68 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.25 W/m²°C

1.2.1.3.- Pavimentos

Referência: Pavimento em contacto com exterior (sótão)

Pavimento sobre espaço interior não aquecido composto por: 1) betonilha com 4 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.031 m²°C/W; 2) p.a. base blocos > 0,3_furos=3_fluxoascendente (16 cm) com 16 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 0.34 W/m°C e resistência térmica de 0.471 m²°C/W; 3) argamassa e reboco tradicional com 2 cm de espessura, coeficiente de condutibilidade térmica de 1.3 W/m°C e resistência térmica de 0.015 m²°C/W.

Coeficiente de transmissão térmica: 1.52 W/m²°C

Coeficiente de transmissão térmica máximo regulamentar: 1.25 W/m²°C

1.3.- Envidraçados

Janela de 2 vidros duplos:

Caixilharia (Janela Alumínio Correr (fachada Sul)) de cor clara; 2 Vidros Duplos; U = 1.80 W/m²°C

Factor solar (gi): 0.48

Factor solar (gv): 0.40

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.40

Janela de 2 vidros duplos:

Caixilharia (Janela Alumínio Correr (fachada Sul)) de cor clara; 2 Vidros Duplos; U = 1.80 W/m²°C

Factor solar (gi): 0.48

Factor solar (gv): 0.40

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.40

Janela de vidro duplo de 20 mm:

Caixilharia (Alumínio Portas Abrir (Sala Este)) de cor clara; Vidro Duplo de 20 mm; U = 4.02 W/m²°C

Factor solar (gi): 0.63

Factor solar (gv): 0.60

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.60

Janela de tijolo de vidro:

Caixilharia (Cimento envolvente do Tijolo de Vidro (fachada Norte)) de cor clara; Tijolo de Vidro; $U = 3.01 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.51

Factor solar (gv): 0.46

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.46

Janela de vidro duplo de 20 mm:

Caixilharia (Aluminio Janela Oscilo-batente) de cor clara; Vidro Duplo de 20 mm; $U = 3.70 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.63

Factor solar (gv): 0.56

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.56

Janela de 2 vidros duplos:

Caixilharia (Porta correr Aluminio (Quartos)) de cor clara; 2 Vidros Duplos; $U = 1.80 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.48

Factor solar (gv): 0.45

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.45

Janela de 2 vidros duplos:

Caixilharia (Porta correr Aluminio (Quartos)) de cor clara; 2 Vidros Duplos; $U = 1.80 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.48

Factor solar (gv): 0.45

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.45

Janela de vidro duplo de 20 mm:

Caixilharia (Janela Oscilo-Batente Aluminio(WC P1)) de cor clara; Vidro Duplo de 20 mm; $U = 3.50 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.63

Factor solar (gv): 0.60

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.60

Clarabóia de claraboias:

Clarabóia de claraboias; $U = 3.20 \text{ W/m}^2\text{°C}$

Factor solar (gi): 0.68

Factor solar (gv): 0.68

Factor solar máximo regulamentar (gt,max): 0.68

1.4.- Climatização e AQS

As necessidades anuais de energia útil para aquecimento são de 8292.96 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para arrefecimento são de 1234.84 kWh/ano

As necessidades anuais de energia útil para AQS são de 2673.77 kWh/ano

1.5.- Energia renovável

A contribuição dos sistemas solares de preparação de AQS é de 0.00 kWh/ano

A contribuição dos sistemas renováveis é de 0.00 kWh/ano

1.6.- Ventilação

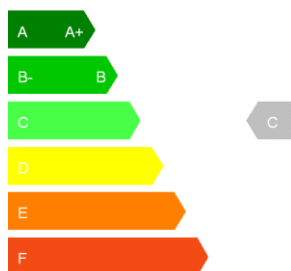
Valor de taxa de renovação horária ($R_{ph,i}$): 0.40

Valor de taxa de renovação horária ($R_{ph,v}$): 0.60

1.7.- Classificação energética

$R = 1.06$

CLASSE ENERGETICA




Classe energética	$R = N_{tc} / N_t$
A+	$R \leq 0.25$
A	$0.26 \leq R \leq 0.5$
B	$0.51 \leq R \leq 0.75$
B-	$0.76 \leq R \leq 1.00$
C	$1.01 \leq R \leq 1.50$
D	$1.51 \leq R \leq 2.00$
E	$2.01 \leq R \leq 2.50$
F	$R \geq 2.51$

1.8.- Emissão de CO2

As emissões anuais de gases de efeito estufa associadas à energia primária para climatização e águas quentes são de 4.1574 toneladas de CO2 equivalentes por ano.

VI. Ficha Técnica – Envidraçados

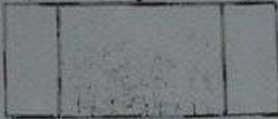


GUARDIAN CONFIGURATOR
GLASS PERFORMANCE CALCULATOR

TESTED BY to be compliant to EN 410
Kiwa and EN 575

José Barreto Ramos - Unipessoal, Lda

Codigo de producto
81 / 77 / 2,9



Espeor total = 20 mm

Vidrios desde el exterior al interior:

Hoja 1	Hoja 2
4 mm Float Glass Clear	4 mm Float Glass Clear
Cámara 1 - 12 mm	
100% Aire	

Resultados

Luz visible (EN 410 - 2011)		Energía Solar (EN 410 - 2011)	
Transmitancia Luminosa [%]	$\tau_v = 81,1$	Transmitancia energética solar total [%]	$g = 78,9$
Reflexión Luminosa exterior [%]	$\rho_e = 14,7$	Coefficiente de sombra (G/O,87)	$sc = 0,88$
Reflexión Luminosa interior [%]	$\rho_i = 14,7$	Transmitancia energética directa [%]	$\tau_o = 71,9$
Índice general de rendimiento de color [%]	$R_a = 97,6$	Reflexión energética exterior [%]	$\rho_e = 13,1$
		Reflexión energética interior [%]	$\rho_i = 13,1$
		Absorción energética [%]	$a = 15,0$
Propiedades térmicas (EN 673 - 2011)		Transmitancia de UV [%]	$\tau_{uv} = 55,0$
Valor-U [W/(m²K)]	$U_g = 2,9$	Transmitancia energética indirecta [%]	$q_i = 5,0$
Inclinación $\alpha = 90^\circ$		Otros datos	
		Índice de atenuación acústica estimada [dB]	$R_w = \text{NPD}$
		(EN 717-1)	$C = \text{NPD}$
			$C_r = \text{NPD}$

Los valores calculados son sólo orientativos y no ofrecen ninguna garantía sobre la posible fabricación del producto final pretendido. Las configuraciones de vidrio obtenidas nunca garantizarán la disponibilidad de los productos.

Vidraria Vilaça, Lda

Vidraria Vilaça, Lda

Fecha: 02-06-2015

Versión de la base de datos: 20141202

Versión del programa: 4.1.181

Página 1 de 1

VII. Programa EnergyPlus – Resumo dos Resultados

Input Verification and Results Summary - Envelope	
Description	Value
Program Version and Build	EnergyPlus-Windows-64 8.1.0.009
RunPeriod	ANUAL
Weather File	Viana Do Castelo - - TMY2-85430 WMO
Latitude [deg]	41.70
Longitude [deg]	-8.8
Elevation [m]	18.00
Time Zone	0.00
Input Verification and Results Summary - Skylight-Roof Ratio	0.00
Rotation for Appendix G [deg]	0.00
Hours Simulated [hrs]	8760.00

Input Verification and Results Summary - Envelope					
	Total	North (315 to 45 deg)	East (45 to 135 deg)	South (135 to 225 deg)	West (225 to 315 deg)
Gross Wall Area [m2]	231.28	65.92	47.74	71.48	46.13
Above Ground Wall Area [m2]	231.28	65.92	47.74	71.48	46.13
Window Opening Area [m2]	24.34	4.27	6.64	10.75	2.67
Gross Window-Wall Ratio [%]	10.52	6.48	13.91	15.04	5.80
Above Ground Window-Wall Ratio [%]	10.52	6.48	13.91	15.04	5.80

Input Verification and Results Summary - Skylight-Roof Ratio	
	Total
Gross Roof Area [m2]	126.70
Skylight Area [m2]	0.80
Skylight-Roof Ratio [%]	0.63

Envelope Summary - Exterior Fenestration																
	Construction	Glass Area [m ²]	Frame Area [m ²]	Divider Area [m ²]	Area of One Opening [m ²]	Area of Multiplied Openings [m ²]	Glass U-Factor [W/m ² -K]	Glass SHGC	Glass Visible Transmittance	Frame Conductance [W/m ² -K]	Divider Conductance [W/m ² -K]	Shade Control	Parent Surface	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
S_W_SUL	VIDRO DUPLO	1.34	0.00	0.00	1.34	1.34	2.718	0.669	0.303			No	S_EW_SUL	192.24	90.00	S
S_GD_SUL	VIDRO DUPLO	3.57	0.00	0.00	3.57	3.57	2.718	0.669	0.303			No	S_EW_SUL	192.24	90.00	S
S_GD_NORTE	VIDRO DUPLO	3.71	0.00	0.00	3.71	3.71	2.718	0.669	0.303			No	S_EW_NORTE	0.00	90.00	N
P1C_W_SUL	2 VIDROS DUPLOS	1.46	0.00	0.00	1.46	1.46	1.309	0.499	0.092			No	P1C_EW_SUL	180.00	90.00	S
P1WC_W_NORTE	VIDRO DUPLO	0.24	0.00	0.00	0.24	0.24	2.718	0.669	0.303			No	P1WC_EW_NORTE	0.00	90.00	N
P1S_W_SUL	2 VIDROS DUPLOS	1.46	0.00	0.00	1.46	1.46	1.309	0.499	0.092			No	P1S_EW_SUL	180.00	90.00	S
P1S_GD_ESTE	VIDRO DUPLO	2.40	0.00	0.00	2.40	2.40	2.718	0.669	0.303			No	P1S_EW_ESTE	90.00	90.00	E
P2QD_W_SUL	2 VIDROS DUPLOS	1.46	0.00	0.00	1.46	1.46	1.309	0.499	0.092			No	P2QD_EW_SUL	180.00	90.00	S
P2QD_GD_OESTE	2 VIDROS DUPLOS	2.12	0.00	0.00	2.12	2.12	1.309	0.499	0.092			No	P2QD_EW_OESTE	270.00	90.00	W
P2QF_GD_ESTE	2 VIDROS DUPLOS	2.12	0.00	0.00	2.12	2.12	1.309	0.499	0.092			No	P2QF_EW_ESTE	90.00	90.00	E
P2QF_W_SUL	2 VIDROS DUPLOS	1.46	0.00	0.00	1.46	1.46	1.309	0.499	0.092			No	P2QF_EW_SUL	180.00	90.00	S
P2WC_W_OESTE	VIDRO DUPLO	0.55	0.00	0.00	0.55	0.55	2.718	0.669	0.303			No	P2WC_EW_OESTE	270.00	90.00	W
P2QP_GD_ESTE	2 VIDROS DUPLOS	2.12	0.00	0.00	2.12	2.12	1.309	0.499	0.092			No	P2QP_EW_ESTE	90.00	90.00	E
P3S_W_QUARTO_SUL2	VIDRO DUPLO_6MM	0.26	0.00	0.00	0.26	0.26	3.204	0.752	0.687			No	P3S_ROOF_SUL	180.00	26.25	
P3S_W_QUARTO_SUL1	VIDRO DUPLO_6MM	0.26	0.00	0.00	0.26	0.26	3.204	0.752	0.687			No	P3S_ROOF_SUL	180.00	26.25	
P3S_W_WC_SUL	VIDRO SIMPLES	0.02	0.00	0.00	0.02	0.02	5.097	0.950	0.934			No	P3S_ROOF_SUL	180.00	26.25	
P3S_W_NORTE	VIDRO DUPLO_6MM	0.26	0.00	0.00	0.26	0.26	3.204	0.752	0.687			No	P3S_ROOF_NORTE	0.00	26.25	
CE_W_NORTE	TUJOLO DE VIDRO	0.32	0.00	0.00	0.32	0.32	2.803	0.570	0.493			No	CE_EW_NORTE	0.00	90.00	N
Total or Average						25.14	2.053	0.588	0.215							
North Total or Average						4.27	2.725	0.662	0.317							
Non-North Total or Average						20.86	1.915	0.573	0.194							

Envolvente Summary - Opaque Exterior								
	Construction	Reflectance	U-Factor with Film [W/m2-K]	U-Factor no Film [W/m2-K]	Gross Area [m2]	Azimuth [deg]	Tilt [deg]	Cardinal Direction
S_EW_OESTE	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO OESTE	0.40	1.685	2.254	18.40	280.50	90.00	W
S_EW_SUL	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO SUL1	0.40	0.934	1.086	9.34	192.24	90.00	S
S_EW_SUL2	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO OESTE	0.40	1.685	2.254	9.62	180.00	90.00	S
S_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO SUL2	0.40	0.934	1.086	11.16	0.00	90.00	N
S_GF	PAVIMENTO GROUND	0.40	2.853	5.306	44.58	0.00	180.00	
S_ROOF	PAVIMENTO EXTERIOR	0.40	0.843	0.953	44.58	192.24	0.00	
SWC_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO NORTE	0.40	1.123	1.349	2.25	0.00	90.00	N
SWC_EW_OESTE	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO OESTE	0.40	1.685	2.254	3.64	280.50	90.00	W
SWC_EW_ESTE	PAREDES EXTERIORES SERVIÇO NORTE	0.40	1.123	1.349	3.58	90.00	90.00	E
SWC_GF	PAVIMENTO GROUND	0.40	2.853	5.306	2.20	0.00	180.00	
SWC_ROOF	PAVIMENTO EXTERIOR	0.40	0.843	0.953	2.57	0.00	31.13	
P1C_EW_SUL	PAREDES EXTERIORES P1	0.40	0.712	0.797	8.61	180.00	90.00	S
P1C_GF	PAVIMENTO GROUND	0.40	2.853	5.306	13.05	0.00	180.00	
P1WC_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES P1	0.40	0.712	0.797	5.45	0.00	90.00	N
P1WC_GF	PAVIMENTO GROUND	0.40	2.853	5.306	6.20	0.00	180.00	
P1S_EW_SUL	PAREDES EXTERIORES P1	0.40	0.712	0.797	14.77	180.00	90.00	S
P1S_EW_ESTE	PAREDES EXTERIORES P1	0.40	0.712	0.797	20.07	90.00	90.00	E
P1S_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES P1	0.40	0.712	0.797	12.07	0.00	90.00	N
P1S_GF	PAVIMENTO GROUND	0.40	2.853	5.306	36.13	0.00	180.00	
P2QD_EW_SUL	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	8.58	180.00	90.00	S
P2QD_EW_OESTE	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	8.33	270.00	90.00	W
P2QF_EW_ESTE	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	8.33	90.00	90.00	E
P2QF_EW_SUL	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	12.25	180.00	90.00	S
P2WC_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	4.85	0.00	90.00	N
P2WC_EW_OESTE	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	9.55	270.00	90.00	W
P2QP_EW_ESTE	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	9.55	90.00	90.00	E
P2QP_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES P2	0.40	0.531	0.577	10.76	0.00	90.00	N
P3S_A_EW_OESTE	PAREDES EXTERIORES P3 SEM XPS E CAMADA REGU.	0.40	1.709	2.296	6.20	270.00	90.00	W
P3S_A_EW_SUL1	PAREDES EXTERIORES P3 SEM XPS E CAMADA REGU.	0.40	1.709	2.296	3.55	180.00	90.00	S
P3S_A_EW_ESTE	COBERTURA	0.40	0.873	1.004	6.20	90.00	90.00	E
P3S_A_EW_NORTE1	PAREDES EXTERIORES P3 SEM XPS E CAMADA REGU.	0.40	1.709	2.296	1.32	0.00	90.00	N
P3S_Q_EW_NORTE	PAREDES EXTERIORES P3 COM XPS	0.40	1.665	2.218	5.95	0.00	90.00	N
P3S_A_EW_NORTE2	PAREDES EXTERIORES P3 SEM XPS E CAMADA REGU.	0.40	1.709	2.296	1.05	0.00	90.00	N
P3S_Q_EW_SUL	PAREDES EXTERIORES P3 COM XPS	0.40	1.665	2.218	3.67	180.00	90.00	S
P3S_A_EW_SUL2	PAREDES EXTERIORES P3 SEM XPS E CAMADA REGU.	0.40	1.709	2.296	1.09	180.00	90.00	S
P3S_FLOOREXTERIOR	PAVIMENTO P3 CONTACTO EXTERIOR	0.40	2.260	3.993	9.35	0.00	180.00	
P3S_ROOF_OESTE	COBERTURA	0.40	0.882	1.004	14.47	270.00	27.01	
P3S_ROOF_SUL	COBERTURA	0.40	0.882	1.004	24.79	180.00	26.25	
P3S_ROOF_ESTE	COBERTURA	0.40	0.882	1.004	15.51	90.00	25.06	
P3S_ROOF_NORTE	COBERTURA	0.40	0.882	1.004	24.79	0.00	26.25	
CE_EW_NORTE	PARADE EXTERIOR CAIXA DE ESCADAS	0.40	1.123	1.349	11.08	0.00	90.00	N
CE_GF	PAVIMENTO GROUND	0.40	2.853	5.306	6.67	0.00	180.00	

